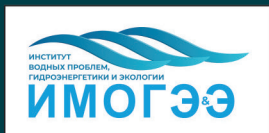


ISSN: 2789-0953

2025 / №5 (4)



# ЗАХИРАҶОИ ОБ, ЭНЕРГЕТИКА ВА ЭКОЛОГИЯ

Институти масъалаҳои об,  
гидроэнергетика ва экологияи  
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон



[www.majalla.imoge.tj](http://www.majalla.imoge.tj)

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОЛОГИЯ

Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии  
Национальной академии наук Таджикистана

## WATER RESOURCES, ENERGY AND ECOLOGY

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

**МАҶАЛЛАИ ИЛМИИ  
«ЗАХИРАҲОИ ОБ, ЭНЕРГЕТИКА  
ВА ЭКОЛОГИЯ»-И ИНСТИТУТИ МАСЪАЛАҲОИ ОБ,  
ГИДРОЭНЕРГЕТИКА ВА ЭКОЛОГИЯИ АКАДЕМИЯИ  
МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН**

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

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

**2025**

**ТОМ 5**

**№ 4**

**ДУШАНБЕ**

**Сармухаррир** – доктори илмҳои техники  
Гулаҳмадзода А.А.

**Муовини сармухаррир** – номзади илмҳои  
техникӣ, дотсент Курбон Н.Б.

**Котиби масъул** – ходими илмӣ Маҳмудов А.Н.

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

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

**Мухаррири забони англисӣ:** Фатуллаева З.;

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

#### **Ҳайати таҳририя:**

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

\*\*\*

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

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

**Excutive Secretary** – Makhmudov A.N.

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

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

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

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

#### **Editorial Members:**

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

**Главный редактор** – доктор технических наук  
Гулаҳмадзода А.А.

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

**Ответственный секретарь** – Махмудов А.Н.

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

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

**Редактор английского текста:** Фатуллаева З.Ю.;

**Компьютерный дизайн и верстка:** Рахимов Ф. и Исоев Д.

#### **Редакционная коллегия:**

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

\*\*\*

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

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

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

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

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

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

## МУНДАРИҶА ЗАХИРАҶОИ ОБ

Пулатов Я.Э. РАВИШИ NEXUS (ОБ-ХҶРОКВОРӢ-ЭНЕРГИЯ-ЭКОЛОГИЯ) ВА ҲАДАФҶОИ РУШДИ УСТУВОР ДАР ЗЕРИ ТАҒЙИРОТИ ИҚЛИМ .....	9
Собиров М.С., Мисиров А.А. РОҶҶОИ МӢТАДИЛГАРДОНИИ РЕҶАИ ОБӢ – НАМАКИИ ЗАМИНҶОИ ШӢРИ КӢХНАОБӢРИША-ВАНДАИ ТОҶИКИСТОНИ ШИМОЛӢ .....	19
Расулзода Ҳ.Ҳ. АРЗӢБӢ ВА ТАҲЛИЛИ ОФАТҶОИ ТАБИӢ, БА МОНАНДИ СЕЛ ВА ЯРЧ ДАР ҲАВЗАИ ДАРӢИ ЗАРАФШОН .....	27
Имомназаров Ф.С., Зарипов Р.Ғ., Абдулназаров Х.М. АРЗӢБИИ ТАРМАҶОИ ПИРЯХӢ ВА МАҶРОИ СЕЛ ДАР ҲАВЗАИ ДАРӢИ ШӢРАКИ КАПАЛӢ (ШОҶОБИ ЧАПИ ДАРӢИ СУРҶОБ, ТОҶИКИСТОН) ВА ТАҲИЯИ ТАДБИРҶОИ КАМ КАРДАНИ ҲАВФ .....	39
Шафиев Г.В., Амиров У.А. ТАДБИРҶОИ ПЕШГИРӢ БАРОИ КОҶИШ ДОДАНИ ҲАВФ ВА ТАҲДИДИ ЯРЧ ДАР МИСОЛИ НОҶИЯИ РОШТҚАЛАИ ВМКБ .....	49
Фазлиддини Н., Бобоев Т.Д., Муродов П.Х., Амирзода О.Ҳ. ҲОЛАТИ МУОСИРИ НИЗОМИ МОНИТОРИНГИ МУҶИТИ ЗИСТ ВОБАСТА БА ҶАНБАҶОИ АРЗӢБИИ ИФЛОСШАВИИ ОБЪЕКТҶОИ ОБ .....	60

## ЭНЕРГЕТИКА

Арифов Х.О. БАЪЗЕ ИНШООТҶОИ ИСТЕҲСОЛКУНАНДА ДАР ВОДИҶОИ ДАРӢҶОИ ТОҶИКИСТОН ВА ШОҶОБҶОИ ОНҶО .....	69
Саттаров С.А., Бахриев С.Х. ТАКМИЛ ДОДАНИ ГАРМКУНАКИ ОҲТОБИИ ОБ .....	75
Зарипов Ҷ.А. ОМӢЗИШИ САМАРАНОКИИ КОЛЛЕКТОРИ ОҲТОБИИ ҲАМВАР (КОҲ) ДАР ГУРУҶИ АГРЕГАТИ ДАСТҶОИ ОБГАРМКУНАНДАИ ОҲТОБӢ (ДОО), КИ БО ГАРМИДИҲАНДАИ МАГНИТӢ МУҶАҲҲАЗ ШУДААСТ .....	82
Абдусамиев Ф.Т., Бахриев С.Х. ТЕХНОЛОГИЯҶОИ ИСТЕҲСОЛИ БИОГИДРОГЕН: ДУРНАМОИШИ ТАТБИҚ ДАР ҶУМҶУРИИ ТОҶИКИСТОН ДАР ЗАМИНАИ ГУЗАРИШ БА ЭНЕРГИЯИ "САБЗ" .....	88
Юмаев Н.Р., Кулулов М.А. СИСТЕМАҶОИ ҶАМӢОВАРИИ НЕРӢИ БАРҚ ДАР ТОҶИКИСТОН .....	95
Чақалова Б.Ҷ., Бобохонов Ф.Ш. ТАЪМИН НАМУДАНИ БЕҲАТАРИИ НАҚБҶОИ ГИДРОТЕХНИКИИ СОҲТМОНӢ ҲАНГОМИ БАЛОИҲАГИРӢ ДАР АСОСИ ОМӢЗИШИ ТАРКИБ ВА ТАВСИФИ ҶАРАӢНИ САХТИ ДАРӢ .....	103
Ализода А.А., Зувайдуллозода Ф.З. РАВАНДҶОИ ЭКОЛОГӢ ВА ГИДРОЭНЕРГЕТИКАИ ХУРД .....	111

## ЭКОЛОГИЯ

Шаймуродов Ф.И., Ниязов Ҷ.Б., Абдушукуров Ҷ.А., Курбон Н.Б. УСУЛҶОИ ИЗОТОПИИ ТАДҚИҚИ РЕКОГИСТСИРОВАНИИ ОБИ КӢЛҶОИ КӢҶИИ (КӢЛҶОИ САРЕЗ, ШАДА, ТОҶИКИСТОН) .....	118
--	-----



Қаюмова Д.А. ИЗОТОПҲОИ УСТУВОРИ ОКСИГЕН ВА ГИДРОГЕН ҲАМЧУН НИШОНДИҲАНДАИ ТАҒЙИРОТ ДАР РЕҶАИ ГИДРОЛОГИИ БОЛООБИ АМУДАРЁ (таркиби изотопии дарёи Сурхоб дар солҳои 2024-2025) .....	124
Боев М.Р., Курбон Н.Б., Курбонов М., Нуоров А.У., Шарифов Ф.Д. ТАҲЛИЛИ ХУСУСИЯТҲОИ ФИЗИКИЮ ХИМИЯВИИ ОБ ДАР МИСОЛИ ҲАВЗАИ ДАРЁИ КОҒАРИҲОН .....	128
Бобозода С.Ф., Стотский Д.Ф., Абдушукуров Ҷ.А., Холмирзозода М.О. ТАДҚИҚИ ИБТИДОИИ РАДИОЭКОЛОГӢ ДАР МИНТАҚАИ КӢЛИ САРЕЗ ДАР ПОМИРИ МАРКАЗӢ .....	136
Шарипов С.А. МОҲИАТ ВА МАҒҲУМИ ДНК-И ЭКОЛОГӢ ДАР ЗАМИНАИ МОНИТОРИНГИ ЭКОЛОГӢ .....	142
Ҳикматуллозода Н.Ҳ., Гулаҳмадзода А.А., Иноятова К.Л. АРЗӢБИИ ҲАЗОИЮ-ЗАМОНИИ ДЕГРАДАТСИЯИ ХОК ДАР ҲАВЗАИ ДАРЁИ КОҒАРИҲОН БО ИСТИҲОДА АЗ НИШОНДИҲАНДАИ BSI (2000–2024) .....	149
Холмамадов А.А. МОДЕЛИ МИНТАҚАБАНДИИ МАМНӢҲОҲИ ДАВЛАТИИ ТАБИИИ ЗОРКӢЛ ҲАМЧУН НАМУНА БАРОИ ИДОРАКУНИИ МУТОБИҚШАВАНДАИ ЭКОСИСТЕМАҲОИ БАЛАНДКӢХ .....	163
Зарипов Ҷ.А. ОМӢЗИШИ КУҲНАШАВИИ ЭЛЕКТРОЛИТҲОИ СИСТЕМАИ ОБ + ПЕРОКСИДИ ХИДРОГЕД + ХОКАИ МАГНИТӢ.....	169
Почоев А.А. БАЛАНД БАРОШТАНИ САМАРАНОКИИ НИГОҲДОРИИ НАФТ ТАВАССУТИ ПАСТ НАМУДАНИ БУҲОРШАВИИ ФРАКСИЯҲОИ САБУК .....	176
Муллоализода М. АРЗӢБИИ ГЕОЭКОЛОГИИ ПАРВАРИШҲОҲИ ДАВЛАТИИ ЗАРАҲШОН: ДУРНАМОИ ИСТИҲОДАБАРИ ДАР СОҲАИ САӢӢҲӢ ЭКОЛОГӢ .....	184

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ**

Пулатов Я.Э. НЕКСУС ПОДХОД (ВЗАИМОСВЯЗЬ ВОДЫ, ПРОДОВОЛЬСТВИЯ, ЭНЕРГИИ И ЭКОЛОГИИ) И ЦЕЛИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ .....	9
Собиров М.С., Мисиров А.А. ПУТИ НОРМАЛИЗАЦИИ ВОДНО – СОЛЕВОГО РЕЖИМА СТАРООРЕШАЕМЫХ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ СЕВЕРНОГО ТАДЖИКИСТАНА .....	19
Расулзода Х.Х. ОЦЕНКА И АНАЛИЗ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ, ТАКИХ КАК СЕЛИ И ОПОЛЗНИ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ЗЕРАФШАН .....	27
Имомназаров Ф.С., Зарипов Р.Г., Абдулназаров Х.М. ОЦЕНКА ЛЕДНИКОВЫХ ЛАВИН И СЕЛЕВОГО ПОТОКА БАССЕЙНА РЕКИ ШУРАКИ КАПАЛИ (ЛЕВЫЙ ПРИТОК РЕКИ СУРХОБ, ТАДЖИКИСТАН) И РАЗРАБОТКА МЕР ПО СНИЖЕНИЮ РИСКА .....	39
Шафиев Г.В., Амиров У.А. ПРЕВЕНТИВНЫЕ МЕРЫ СНИЖЕНИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ РИСКОВ И УГРОЗ (РОШТКАЛИНСКИЙ РАЙОН. ТАДЖИКИСТАН) .....	49
Фазлиддини Н., Бобоев Т.Д., Муродов П.Х., Амирзода О.Х. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В АСПЕКТЕ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ .....	60

### **ЭНЕРГЕТИКА**

Арифов Х.О. НЕКОТОРЫЕ ГЕНЕРИРУЮЩИЕ ОБЪЕКТЫ В ДОЛИНАХ РЕК ТАДЖИКИСТАНА И ИХ ПРИТОКАХ .....	69
Саттаров С.А., Бахриев С.Х. УЛУЧШЕНИЕ РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ .....	75
Зарипов Дж.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА (ПСК) В СОСТАВЕ СОЛНЕЧНОЙ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ (СВУ), СНАБЖЁННОЙ МАГНИТНЫМИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ .....	82
Абдусамиев Ф.Т., Бахриев С.Х. ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БИОВОДОРОДА: ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН В КОНТЕКСТЕ ПЕРЕХОДА НА «ЗЕЛЕНУЮ» ЭНЕРГИЮ .....	88
Юмаев Н.Р., Кулулов М.А. ОБЗОР СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТАДЖИКИСТАНЕ .....	95
Чакалова Б.Дж., Бобохонов Ф.Ш. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ТУННЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА И ХАРАКТЕРИСТИК ТВЁРДОГО СТОКА РЕКИ .....	103
Ализода А.А., Зувайдуллозода Ф.З. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАЛАЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКА .....	111

## ЭКОЛОГИЯ

Шаймурадов Ф.И., Ниязов Дж.Б., Абдушукуров Д.А., Курбон Н.Б. РЕКОГНИСЦИРОВОЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОД ГОРНЫХ ОЗЕР ИЗОТОПНЫМ МЕТОДОМ (ОЗЁРА САРЕЗ, ШАДАУ. ТАДЖИКИСТАН) .....	118
Каюмова Д.А. СТАБИЛЬНЫЕ ИЗОТОПЫ КИСЛОРОДА И ВОДОРОДА КАК ИНДИКАТОР ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВЕРХОВЬЯ АМУДАРЬЯ (изотопный состав реки Сурхоб в 2024-2025 гг.) .....	124
Боев М.Р., Курбон Н.Б., Курбонов М., Нуров А.У., Шарифов Ф.Д. АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ КАФИРНИГАН .....	128
Бобозода С.Ф., Стоцкий Д.Ф., Абдушукуров Д.А., Холмирзозода М.О. ПЕРВИЧНЫЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ САРЕЗСКОГО ОЗЕРА В ЦЕНТРАЛЬНОМ ПАМИРЕ .....	136
Шарипов С.А. СУЩНОСТЬ И КОНЦЕПЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДНК В КОНТЕКСТЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА .....	142
Хикматуллозода Н.Х., Гулахмадзода А.А., Иноятова К.Л. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ КАФИРНИГАН ПО ИНДЕКСУ BSI (2000–2024) .....	149
Холмамадов А.А. МОДЕЛЬ ЗОНИРОВАНИЯ ЗОРКУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАПОВЕДНИКА КАК ИНСТРУМЕНТ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОГОРНЫМИ ЭКОСИСТЕМАМИ .....	163
Зарипов Дж.А. ИЗУЧЕНИЕ СТАРЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТОВ СИСТЕМЫ ВОДА + ПЕРОКСИД ВОДОРОДА + МАГНИТНЫЙ ПОРОШОК .....	169
Почоев А.А. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ ПУТЁМ МИНИМИЗАЦИИ ИСПАРЕНИЯ ЛЁГКИХ ФРАКЦИЙ .....	176
Муллолизода М. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАПОВЕДНИКА ЗАРАФШАН: ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СФЕРЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА .....	184

## **TABLE OF CONTENTS**

### **WATER RESOURCES**

Pulatov Ya.E. NEXUS APPROACH (WATER-FOOD-ENERGY-ENVIRONMENT) AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE .....	9
Sobirov M.S., Misirov A.A. WAYS TO NORMALIZING THE WATER-SALT REGIME OF OLD SALINE SOILS OF NORTHERN TAJIKISTAN .....	19
Rasulzoda H.H. ASSESSMENT AND ANALYSIS OF NATURAL DISASTERS SUCH AS DEBRIS FLOWS AND LANDSLIDES IN THE ZARAFSHAN RIVER BASIN .....	27
Imomnazarov F.S., Zaripov R.G., Abdulnazarov Kh.M. ASSESSMENT OF GLACIAL AVALANCHES AND DEBRIS FLOWS IN THE SHURAKI-KAPALI RIVER BASIN (LEFT TRIBUTARY OF THE SURKHOB RIVER, TAJIKISTAN) AND DEVELOPMENT OF RISK REDUCTION MEASURES ...	39
Shafiev G.V., Amirov U.A. PREVENTIVE MEASURES TO REDUCE LANDSLIDE RISKS AND THREATS: CASE STUDY IN THE ROSHTKALA DISTRICT OF GBAO .....	49
Fazliddini N., Boboev T.D., Murodov P.Kh., Amirzoda O.Kh. CURRENT STATE OF THE ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM IN THE CONTEXT OF ASSESSING WATER POLLUTION .....	60

### **ENERGY**

Arifov Kh.O. AN OVERVIEW OF SELECTED GENERATING FACILITIES IN THE RIVER VALLEYS OF TAJIKISTAN AND THEIR TRIBUTARIES .....	69
Sattarov S.A. IMPROVING THE PERFORMANCE OF SOLAR WATER HEATERS .....	75
Zaripov J.A. STUDY OF THE EFFICIENCY OF A FLAT SOLAR COLLECTOR (FSC) AS PART OF A SOLAR WATER HEATING UNIT (SWU) EQUIPPED WITH MAGNETIC COOLANTS .....	82
Abdusamiyev F.T., Bakhriev S.Kh. BIOHYDROGEN PRODUCTION TECHNOLOGIES: IMPLEMENTATION PROSPECTS IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN IN THE CONTEXT OF THE TRANSITION TO "GREEN" ENERGY .....	88
Yumaev N.R., Kululov M.A. ELECTRICITY STORAGE SYSTEMS IN TAJIKISTAN .....	95
Chakalova B.J., Bobohonov F.Sh. ENSURING THE SAFETY OF HYDRAULIC CONSTRUCTION TUNNELS IN DESIGN BASED ON THE STUDY OF THE COMPOSITION AND CHARACTERISTICS OF THE RIVER'S SOLID RUNOFF .....	103
Alizoda A.A., Zuvaidullozoda F.Z. ENVIRONMENTAL PROCESSES AND SMALL HYDROPOWER .....	111

## ECOLOGY

Shaimuradov F.I., Niyazov J.B., Abdushukurov D.A., Kurbon N.B. RECONNAISSANCE STUDIES OF MOUNTAIN LAKE WATERS USING THE ISOTOPE METHOD (LAKES SAREZ, SHADAU. TAJIKISTAN) .....	118
Kayumova D.A. STABLE ISOTOPES OF OXYGEN AND HYDROGEN AS AN INDICATOR OF CHANGES IN THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE UPPER AMU DARYA (isotopic composition of the Surkhob River in 2024-2025) .....	124
Boev M.R., Kurbon N.B., Qurbonov M., Nurov A.U. Sharifov F.D. ANALYSIS OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF WATER USING THE EXAMPLE OF THE KOFARNIHON RIVER BASIN .....	128
Bobozoda S.F., Stotsky D.F., Abdushukurov D.A., Kholmirezoda M.O. PRIMARY RADIOECOLOGICAL STUDIES IN THE AREA OF SAREZ LAKE IN THE CENTRAL PAMIRS .....	136
Sharipov S.A. ESSENCE AND CONCEPT OF ECOLOGICAL DNA IN THE CONTEXT OF ECOLOGICAL MONITORING .....	142
Khikmatullozoda N.H., Gulahmadzoda A.A., Inoyatova K.L. SPATIAL– TEMPORAL ASSESSMENT OF SOIL DEGRADATION IN THE KOFARNIHON RIVER BASIN USING THE BARE SOIL INDEX (BSI) (2000– 2024).....	149
Kholmamadov A.A. ZONING MODEL OF THE ZORKUL STATE NATURE RESERVE AS A TOOL FOR ADAPTIVE MANAGEMENT OF HIGH-MOUNTAIN ECOSYSTEMS .....	163
Zaripov J.A. STUDIES OF AGING OF ELECTROLYTES IN THE WATER + HYDROGEN PEROXIDE + MAGNETIC POWDER SYSTEMS.....	169
Pochoev A.A. IMPROVING THE EFFICIENCY OF OIL STORAGE BY MINIMIZING THE EVAPORATION OF LIGHT FRACTIONS .....	176
Mullolizoda M. GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE ZARAFSHAN STATE NATURE RESERVE: PROSPECTS FOR USE IN THE FIELD OF ECOTOURISM .....	184

## НЕКСУС ПОДХОД (ВЗАИМОСВЯЗЬ ВОДЫ, ПРОДОВОЛЬСТВИЯ, ЭНЕРГИИ И ЭКОЛОГИИ) И ЦЕЛИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ.

Пулатов Я.Э.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана

\*Автор-корреспондент. E-mail: tj\_water@mail.ru

**Аннотация.** В статье приводятся результаты исследований по изучению научно-обоснованных механизмов взаимосвязи воды, энергии, продовольствия и экологии в условиях климатических изменений. Дана историческая предпосылка НЕКСУС подхода и использование его при отраслевом планировании и управлении. Описана методология исследовательского процесса и разработана концептуальная модель взаимосвязей воды, энергии, продовольствия и экологии. Излагается глобальные политические рамки продвижения НЕКСУС подхода для устойчивого развития и описаны взаимосвязи различных Целей Устойчивого Развития.

**Ключевые слова:** методология оценки, НЕКСУС подход, взаимосвязь, водные ресурсы, гидроэнергетика, продовольствие, экология, управление, концептуальная модель, цели устойчивого развития.

### Введение

В связи с развитием секторов экономики, которые усиливают нагрузки на ограниченные водные ресурсы, исследование и оценка по НЕКСУС (взаимосвязь воды, продовольствия, энергии и экосистемы) подходу имеют важное научно-практическое значение. Такая необходимость возникла в связи с существованием определенных секторальных и межсекторальных противоречий в контексте горизонтальной и вертикальной иерархии управления, использования и охраны водных ресурсов. Существует противоречие между секторами ирригацией и гидроэнергетикой, экономикой и экологией, руководством и управлением, спросом и предложением и т.д. Для достижения Цели устойчивого развития (ЦУР), повышения водообеспеченности, обеспечения водной, продовольственной, энергетической, экологической безопасности, социально-экономическому развитию необходимо перейти на стратегию, основанную на рациональном использовании природных ресурсов путем внедрения принципов интегрированного управления водными ресурсами на основе комплексного, си-

стемного и взаимосвязанного (НЕКСУС) подхода [1, 2].

Термин «нексус» (от лат. Nexus - «связь, «сцепление») - имеет множество значений в разных областях, но в общем значении обозначает центральную часть - центр сцепления каких-нибудь связей, рассматриваемых как единое целое. Термин Нексус (Nexus) от латинского слова означает «взаимосвязь» и в связи с управлением природными ресурсами впервые введен в 80-х годах прошлого столетия. Первые предпосылки Воды-Энергии-Продовольствия (ВЭП) впервые зародились на конференции в Мар-дель-Плата в 1977 году. Продовольствие и энергия как важнейшие детерминанты развития уже в начале 1980-х годов рассматривались в более широком экологическом контексте [3].

Далее НЕКСУС подход развивался в рамках программы «Связь между продовольствием и энергией» Университета ООН [4, 5]. В 1990-х годах Всемирный банк использовал термин «связь» для связи между водой, продовольствием и торговлей [6].

Взаимодействие и обратные связи между водным, энергетическим и про-



довольственным секторами могут быть очерчены внешними эффектами между секторами, а также изменениями в пространстве и времени, чтобы показать возможности для повышения эффективности использования ресурсов и создания выгод [7].

VI-й Всемирный водный форум (2012г.) оказал сильное влияние на дискуссию о взаимосвязи между различными участниками. ФАО (2014 г.) заявил, что «взаимосвязь между водой, энергией и продовольствием стала полезной концепцией для описания и рассмотрения сложного и взаимосвязанного характера наших глобальных ресурсных систем, от которых мы зависим для достижения различных социальных, экономических и экологических целей [8].

Предварительная версия проекта методологии оценки взаимосвязи для обсуждения, (версия 1 сентября 2014 г.) подготовлена Королевским технологическим институтом (КТИ) совместно с секретариатом ЕЭК ООН. Проект методологии был распространен Целевой группой в декабре 2013 года [9]. В 2004 году Всемирный банк опубликовал доклад «Взаимосвязь водных и энергетических ресурсов в Центральной Азии», где были рассмотрены усилия по региональному сотрудничеству в водно-энергетическом секторах, предпринятые республиками Центральной Азии в 1990-х годах в бассейне реки Сырдарья, выявлены причины возникших проблем и предложен подход Nexus, позволяющий сделать сотрудничество более надежным, устойчивым и справедливо выгодным для всех заинтересованных сторон [10]. С тех пор структура ВЭФ Nexus использовалась экспертами для продвижения региональной интеграции в Центральной Азии [11, 12].

В настоящее время страны Центральной Азии продвигают подход, который все чаще требует отраслевого планирования и управления:

- Водная безопасность: национальные приоритеты, адаптация к изменению климата, стимулирование спроса, повышение эффективности, политика и институты ИУВР.
- Энергетическая безопасность: новое производство, альтернативные источники энергии, политика, системы передачи, энергетические рынки.
- Продовольственная безопасность: самодостаточность, экспорт и рынки, распределение, эффективность, диверсификация сельскохозяйственных культур.
- Окружающая среда: охрана, реабилитация, экологические услуги, экологический туризм, биоразнообразие.

Формирование взаимовыгодных режимов для систем водоснабжения, энергетики, сельского хозяйства и изменения климата в соответствии с концепцией взаимосвязи требует надежного управления и меж секторальной координации.

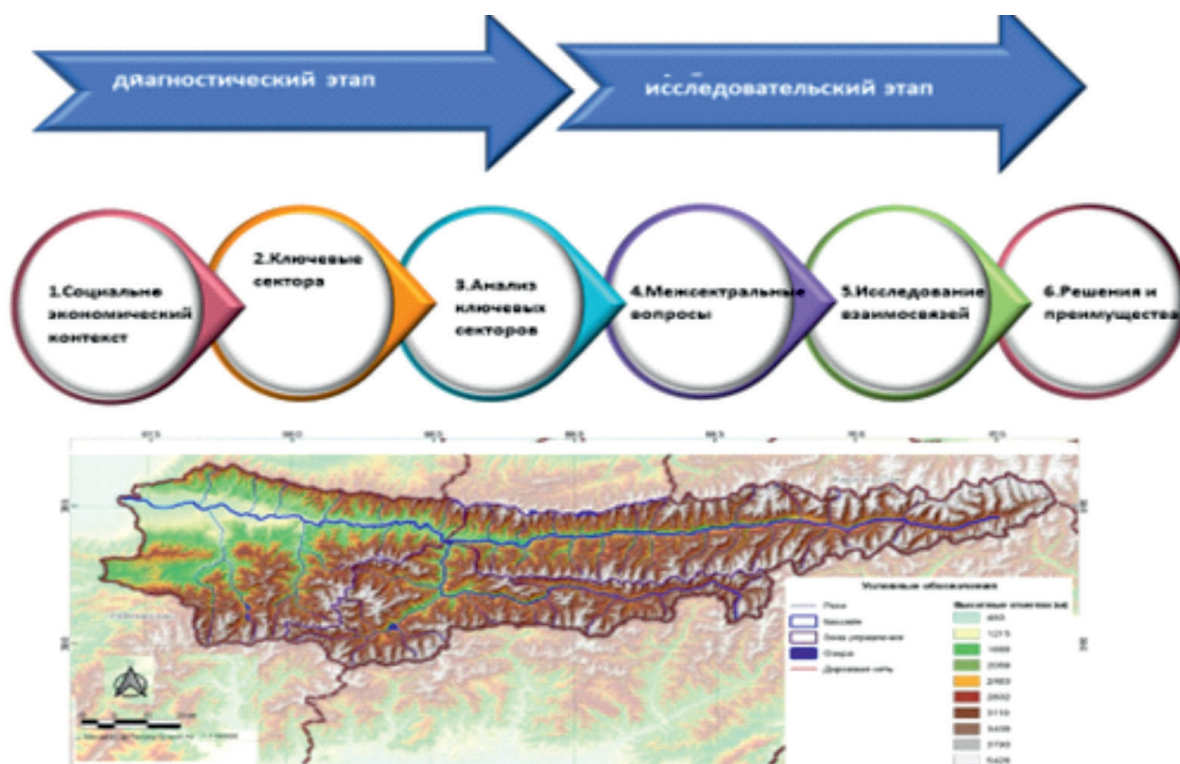
Первый проект с участием Таджикистана по оценке взаимосвязи между водой, продовольствием, энергией и экосистемами (НЕКСУС) осуществился как часть программы работы на период 2013-2015 годов в рамках Конвенция ЕЭК ООН по трансграничным водам. Методология оценки была разработана под руководством Целевой группы, Королевским технологическим институтом (Стокгольм) совместно с секретариатом ЕЭК ООН., распространён для изучения и проверен на практике. По данной методологии проведена оценка взаимосвязи бассейнов Алазани/Ганых, Сава и Сырдарья [13], также были проведены исследования по влиянию климатических факторов на гидрологический режим основных рек Таджикистана [14, 15, 16].

Таким образом, НЕКСУС (взаимосвязь воды, энергии, продовольствия и экологии) подход является новым этапом развития теории и практики интегрированного управления водными ресурсами

(ИУВР). При этом вопросы их изучения в условиях климатических изменений как инструмент для оценки, управления и прогноза имеет важное значение.

**Цель исследований** заключается в изучении применения НЕКСУС подхода, научно-прикладных механизмов оценки взаимосвязи воды, энергии, продовольствия и экологии с Целями устойчивого развития (ЦУР) в условиях климатических изменений.

**Методы исследования.** В процессе исследования применялись «Методология ЕЭК ООН по оценке взаимосвязи воды, энергии, продовольствия и экологии (НЕКСУС подход)». Для изучения НЕКСУС оценки нами принята нижеследующая методика, при котором исследовательский процесс состоял из 2х этапов - диагностический и исследовательский.



**Рисунок 1.** Методика исследовательского процесса по НЕКСУС подходу.

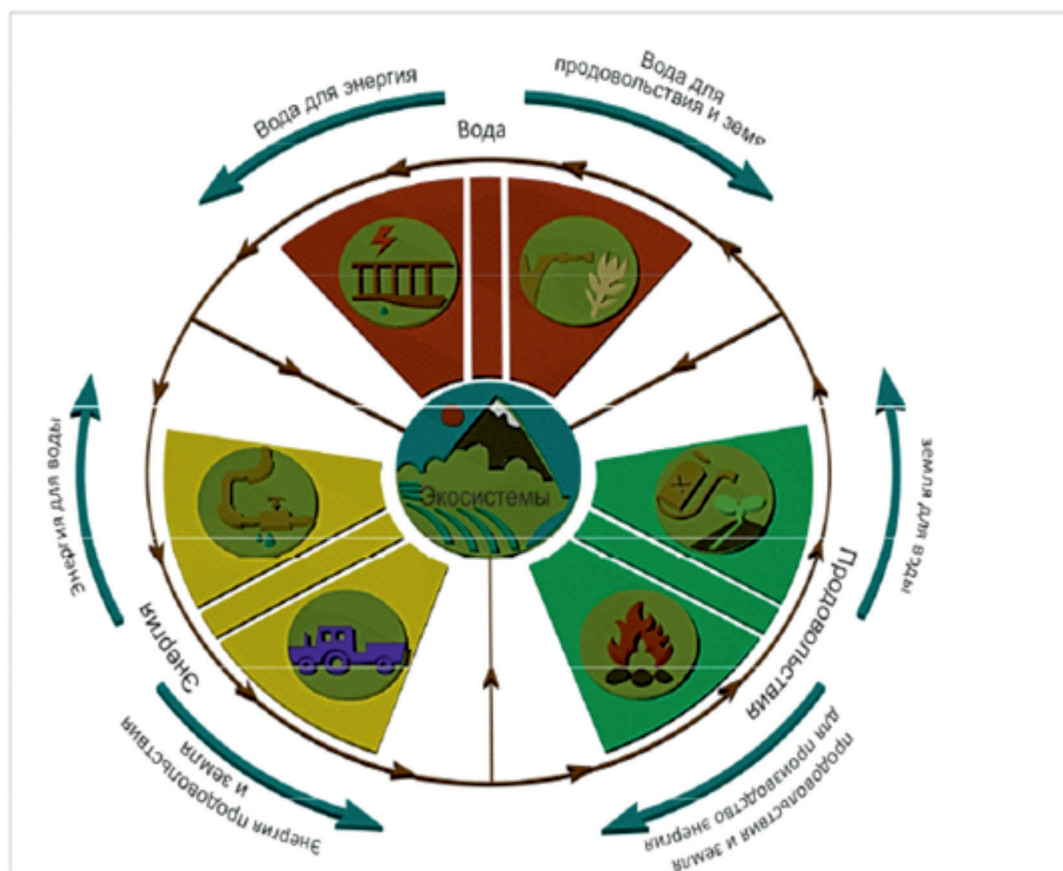
При диагностическом этапе занимались сбором данных (гидрологических, географических, социально-экономических и др.), ознакомились с ключевыми секторами водопользования, структурами управления, использования и охраны водных ресурсов, законодательной и нормативно-правовой, а также институциональной базой управления в бассейне реки Зерафшан. В исследовательском этапе полученные данные и материалы обрабатывались и на этой основе проведена оценочная работа. Определены межсекторальные проблемы, исследованы их

взаимосвязь, составлены концептуальные схемы и модели, разработаны и рекомендованы научно-обоснованные решения по подходу НЕКСУС оценки на примере бассейна реки Зерафшан.

**Результаты исследования.** На основе изучения фундаментальных и прикладных аспектов подхода НЕКСУС по анализу и оценке взаимосвязи между водой, продовольствием, энергией и экосистемой на примере бассейна реки Зерафшан разработана концептуальная модель взаимосвязей (Рис.2.). Основа модели составляет взаимосвязь: «Вода для энер-

гии»; «Вода для продовольствия и земли»; «Энергия для воды»; «Энергия для продовольствия»; «Продовольствие и земли для

производства энергии»; «Продовольствие и земли для воды».



**Рисунок 2.** Концептуальная модель взаимосвязи воды, энергии, продовольствия и экосистемы (НЕКСУС).

Что даст оценка взаимосвязи –НЕКСУС?

- Краткосрочная перспектива (национальная): управление спросом для повышения водной и энергетической эффективности, оптимизация водопользованием, диверсификация источников энергии и т.д.
- Среднесрочная перспектива: снижение уровня бедности, законодательство в сфере охраны окружающей среды; скоординированность/согласованность отраслевых стратегий (анализ институциональной системы и системы управления)
- Долгосрочная перспектива (Межгосударственная): преимущества сотрудничества (особенно торговля продовольствием и энергией).
- Возможности оценки на межгосударственном уровне:
- Снижение зависимости от гидроэнергетики и ирригации повысит устойчивость к недостатку водных ресурсов в засушливые годы;
- Потребность в энергии усилится, поэтому меры по повышению энергоэффективности смогут снизить потребность в дальнейших инвестициях в производство энергии;
- Увеличение доли возобновляемых ресурсов позволит обеспечить доступ жителей сельской местности к электричеству.



- Экономические инструменты (такие, как диверсификация тарифов по секторам, субсидии, освобождение от уплаты налогов)
- Управление спросом: стимулирование снижения использования электричества для отопления – поддержка использования альтернативных источников энергии, изоляция - стандарты эффективности для зданий
- Возможности для повышения потенциала: повышение эффективности водопользования. Поддержка, стимулирование использования водо сберегающих технологий. Продвижение повторного использования сточных вод в сельском хозяйстве. Тарифы и

назначение платы за воду. Измерение водопотребления.

- Улучшение сельскохозяйственного сектора: диверсификация посевов и использования культур с меньшим потреблением воды, органическое земледелие и улучшенные, более эффективные технологии орошения.

На рисунках 3 и 4 показаны взаимосвязь водной, энергетической, продовольственной безопасности при воздействии экологических (климатические изменения, деградация и др), экономических (кризис, финансирование...), демографических (рост населения, повышение спроса...), геополитических и других факторов и давлений.

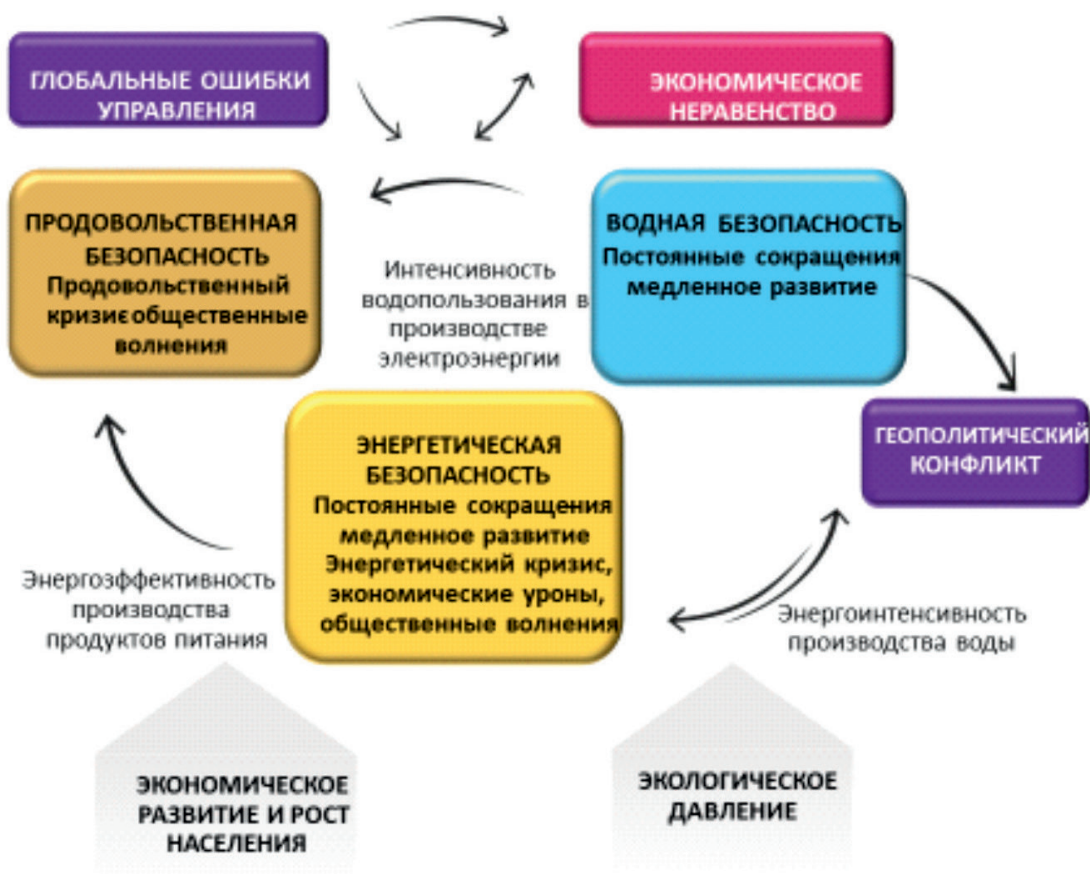


Рисунок 3. Взаимосвязь водной, энергетической, продовольственной безопасности



Рисунок 4. Анализ взаимосвязей.

Глобальные политические рамки продвижения НЕКСУС подхода для устойчивого развития. Президент Республики Таджикистан Эмомали Рахмон 2 ноября 2021 года принял участие в тематической дискуссии высокого уровня ООН на тему «Осуществление действий в области климата». Он отметил, что в решении проблем глобального потепления и экологического кризиса необходимо использовать НЕКСУС подход. По его словам, таджикские ледники тают очень быстро, более 1 тыс. из 14 тыс. ледников страны полностью растаяли. Он также отметил, что за последние несколько десятилетий общий объём ледников Таджикистана, который составляет более 60% водных ресурсов Центрально-азиатского региона, уменьшился почти на 30%. Президент напомнил о важности создания Международного фонда сохранения ледников, объявления 2025 года «Международным годом защиты ледников». «Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», принятая Генеральной Ассамблеей ООН в 2015 году, включает

«17 целей в области устойчивого развития (ЦУР)» и 169 задач, каждая из которых призвана стимулировать конкретные действия в течение 15-летнего периода. Всеобъемлющая цель Повестки дня до 2030 года заключается в создании более справедливого, мирного и процветающего глобального общества путем уравнивания трех неотъемлемых аспектов устойчивого развития, а именно: экономики, общества и окружающей среды. ЦУР охватывают широкий спектр тем и вопросов, тем самым устанавливая взаимосвязь между различными целями. Ни одна цель не может быть достигнута изолированно, а только в сочетании с другими целями. Взаимосвязанный характер ЦУР требует целостного, многоотраслевого и многомерного подхода к реализации. Поскольку нынешние административные структуры в значительной степени основаны на разделенной отраслевой политике, такой подход бросает вызов традиционным процессам и требует от разных секторов стремления к синергии между своими индивидуальными отраслевыми планами

развития и одновременного поиска компромиссов [17].

Четыре ЦУР из 17, особенно актуальны для НЕКСУС в рамках Конвенции по трансграничным водам: цель в области водоснабжения и санитарии (ЦУР 6), которая включает интегрированное управление водными ресурсами и улучшение трансграничного сотрудничества за пределами рек; цель искоренения го-

лода (ЦУР 2), которая включает достижение продовольственной безопасности и продвижение устойчивого сельского хозяйства; цель по обеспечению доступной и чистой энергии (ЦУР 7), которая включает обеспечение доступа к устойчивой энергии для всех; и цель сохранения жизни на суше (ЦУР 15), которая включает защиту, восстановление и устойчивое управление экосистемами (Таблица 1.)

**Таблица 1.** Описание взаимосвязи различных Целей Устойчивого Развития.

Номер и описание взаимодействующих ЦУР	Описание взаимосвязи
2.4. Повышение устойчивости производства продуктов питания	Сельскохозяйственные продукты и отходы могут служить устойчивыми источниками энергии.
7.2 Существенно увеличить долю возобновляемой энергии	Повышенная сельскохозяйственная деятельность (орошение, удобрения, техника) требует значительных затрат энергии.
2.3 Двукратное увеличение сельскохозяйственного производства	Увеличение сельскохозяйственного производства (орошение) требует повышения эффективности водопользования.
6.4 Решение проблемы эффективности водопользования и дефицита воды	
2.3 Двукратное увеличение сельскохозяйственного производства	Повышенная сельскохозяйственная деятельность (удобрения, пестициды) влияет на качество воды.
6.3 Улучшение качества воды за счет уменьшения загрязнения	
7.2 Существенно увеличить долю возобновляемой энергии	Развитие инфраструктуры водоснабжения и канализации требует энергии (откачка и очистка).
6.1, 6.2 Увеличение водоснабжения и развитие санитарной инфраструктуры	
7.2 Существенно увеличить долю возобновляемой энергии	Производство энергии (гидроэнергетика, охлаждение) влияет на связанные с водой экосистемы.
15.3 Борьба с опустыниванием и восстановление земель	Управление водными ресурсами может усугубить опустынивание.
6.5 Внедрение ИУВР на всех уровнях, включая трансграничное сотрудничество	Управление водными ресурсами оказывает прямое влияние на пресноводные экосистемы.
15.1 Сохранение, восстановление и содействие устойчивому использованию наземных и пресноводных экосистем	Обе цели направлены на защиту связанных с водой экосистем.
6.6. Защита и восстановление экосистем, связанных с водой	
15.1 Сохранение, восстановление и содействие устойчивому использованию наземных и пресноводных экосистем	Хотя рост сельскохозяйственного производства (землепользования) влияет на экосистемы, он также зависит от функционирующих эко системных услуг.
6.3 Улучшение качества воды за счет уменьшения загрязнения	



15.1 Сохранение, восстановление и содействие устойчивому использованию наземных и пресноводных экосистем	Производство энергии (все ресурсы и технологии) оказывает серьезное воздействие на экосистемы.
7.2 Существенно увеличить долю возобновляемой энергии	
15.3 Борьба с опустыниванием и восстановление земель	Устойчивое сельское хозяйство сохраняет экосистемы и восстанавливает землю.
2.4 Повышение устойчивости производства продуктов питания	Устойчивое сельское хозяйство влияет на методы управления водными ресурсами.
6.5 Внедрение ИУВР на всех уровнях, включая трансграничное сотрудничество	

Глобальный НЕКСУС Секретариат, «Цели устойчивого развития (ЦУР), принятые Повесткой дня ООН в области устойчивого развития на период до 2030 года, неразрывно связаны друг с другом. То же самое касается конкретных целей по смягчению последствий изменения климата и адаптации к ним в соответствии с Парижским соглашением, принятым в рамках РКИК ООН. Эти связи позволяют находить эффективные и действенные решения для решения мировых проблем. ЦУР 6 (вода), 7 (энергия) и 2 (продовольственная безопасность) не только тесно связаны друг с другом, но и чрезвычайно важны для подхода Нексус. С учетом вышеизложенного и в соответствии с Резолюцией Исполнительного Комитета Международного фонда спасения Арала (ИК МФСА) от 30 января 2018 года о начале создания Четвертой Программы бассейна Аральского моря (ПБАМ-4) и Европейская Комиссия, инициировала корректировку направления проекта "Нексус Диалог в Центральной Азии", чтобы воспользоваться «уникальным окном возможностей» для интеграции принципов НЕКСУС в процесс планирования ПБАМ-4, и с этой помощью достигнуть ВЭП безопасность в ЦА

Растущие потребности в энергии и продовольствии вследствие роста численности населения, урбанизации, индустриализации и экономического разви-

тия, а также климатических изменений, усложняют возможности для обеспечения доступности воды в достаточном количестве и ее безопасного качества. Кроме того, увеличивается нагрузка на природные экосистемы. «Перед человечеством стоит глобальная задача по достижению общих потребностей развития на долгосрочной устойчивой основе, без ущерба для функционирования экосистем»

В Таджикистане оценка взаимосвязи на основе НЕКСУС подхода на национальном и межгосударственном (трансграничном) уровнях нацелены на:

- Реализацию Постановления Правительства Республики Таджикистан от 30 декабря 2015 года №791 «О программе реформы водного сектора Республики Таджикистан на 2016-2025 годы»;
- Реализацию Постановления Правительства Республики Таджикистан от «29» ноября 2024 года, №627 «Национальная водная стратегия Республики Таджикистан на период до 2040 года»;
- Разработку национальных планов по внедрению основных принципов Интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР) на уровне бассейнов рек в условиях климатических изменений;
- Поддержку Межгосударственного (трансграничного) сотрудничества путем выявления межотраслевых взаи-

модействий в различных бассейнах, и определение стратегических мер и действий, которые могут облегчить негативные последствия конфликтующих интересов стран/секторов взаимосвязи и помочь оптимизировать использование имеющихся ресурсов;

- Разработку инновационных технологий и методов водо-ресурсосбережения в условиях климатических изменений;
- Содействие в повышении эффективности использования ресурсов, усиление согласованности стратегий и совместного высокоэффективного их использования, управления и охраны;
- Укрепление потенциала в оценке и решении отраслевых и межотраслевых водных проблем.

#### Выводы

1. Таким образом, концепция НЕКСУС хорошо подходит для информирования о действиях и политике в поддержку достижения ЦУР. Ключевые секторы управления ресурсами, такие как энергетика и сельское хозяйство, являются жизненно важными компонентами с точки зрения общей стратегии и планирования в рамках Повестки дня до 2030 года и могут получить большую пользу от применения НЕКСУС подхода.

2. Обширный анализ на предмет НЕКСУС подхода показывает, что вопросы изучения научно-обоснованных механизмов взаимосвязи воды, энергии, продовольствия и экологии в условиях климатических изменений бассейнов рек Таджикистана до наших исследований не были проведены.

3. Результаты исследований способствовали реализации Постановления Правительства Республики Таджикистан от 30 декабря 2015 года №791 «О программе реформы водного сектора Республики Таджикистан на 2016-2025 годы» (Пункт 32): «Научные основы повышения эффективности использования водных ресур-

сов». Они используются при разработке Бассейновых планов управления водными ресурсами.

4. Способствует разработке национальных планов по внедрению основных принципов Интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР) и Цели устойчивого развития (ЦУР) на уровне бассейнов рек в условиях климатических изменений.

#### Литература

1. Пулатов Я.Э., Бахриев С.Х., Вализода З.И., Бобоев А. К вопросу оценки взаимосвязи воды, продовольствия, энергии и экосистем в бассейне реки Сырдарья (NEXUS). // Сб. научных статей Международной научно-практической конференции «Наука и инновация в XXI веке: актуальные вопросы, достижения и тенденции развития». ТАУ, Душанбе, 2017. –С.364-369
2. Пулатов Я.Э. Научно-обоснованные механизмы оценки взаимосвязи воды, энергии, продовольствия и экологии в условиях климатических изменений (на примере бассейна реки Зерафшан) // Международная конференция «Центральная Азия: на пути к устойчивому будущему посредством сильного регионального института». –Душанбе, 2023.
3. Шрилатхой Батливалои (1982). Батливала, С. (1982). «Дефицит энергии и питание в сельских районах: новая перспектива». Экономико-политический еженедельник, 17 (9), С.329-333. <http://www.jstor.org/stable/4370728>
4. Сакс И. и Силк Д. Продовольствие и энергия: стратегии устойчивого развития. Издательство Университета Организации Объединенных Наций. Токио, 1990.
5. Эндо, А., Цурита, И., Бернетт, К., и Орсиньо, М. «Обзор текущего состояния исследований воды, энергии и продовольственная связь». Журнал «Гидрология: региональные исследования». 2017, Том 11. С.20-30. ISSN 2214-5818. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.11.010>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581815001251>)
6. Аллан Д.А.) «Виртуальная вода - связь между водой, продовольствием и торговлей. Полезная концепция или вводящая в заблуждение метафора?», Водные Интернешнлы, 28:1, 2003, С.106-113, <https://doi.org/10.1080/virtual02508060.2003.9724812>
7. Хофф, Х. Понимание Нексуса. Справочный документ конференции Бонн-2011: Вода. Взаи-

- мосвязь между энергетикой и продовольственной безопасностью. Стокгольмский институт окружающей среды. Стокгольм. 2011.
8. ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций) (2014 г.) Взаимосвязь между водой, энергией и продовольствием. Новый подход в поддержку продовольственной безопасности и устойчивого сельского хозяйства. bl496e.pdf (fao.org)
  9. [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2014/WAT/06Jun\\_25-26\\_Geneva/ECE\\_MP.WAT\\_WG.1\\_2014\\_6\\_RUS.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2014/WAT/06Jun_25-26_Geneva/ECE_MP.WAT_WG.1_2014_6_RUS.pdf)
  10. Водно-энергетическая взаимосвязь в Центральной Азии: совершенствование регионального сотрудничества в бассейне Сыр-дарьи. Всемирный банк, Вашингтон. 2004, Документ Всемирного банка.
  11. Рахматуллаев, С., Абдуллаев, И. и Казбеков, Д. (2017) «Взаимосвязь вода-энергия-продовольствие-окружающая среда в Центральной Азии: от перехода к трансформации». В кн.: Жильцов С., Зонн И., Костяной А., Семенов А. (ред.): Водные ресурсы Центральной Азии: международный контекст. Справочник по химии окружающей среды. Том 85. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/698\\_2017\\_180](https://doi.org/10.1007/698_2017_180)
  12. Саидматов О., Руденко И., Пфистер С. и Козил Д. (2020) «Взаимосвязь воды, энергии и продовольствия для продвижения региональной интеграции в Центральной Азии». Вода, т. 12(7), 1896, <https://doi.org/10.3390/w12071896>.
  13. Annukka Lipponen, Seppo Rekolainen, Vadim Sokolov, Yarash Pulatov, Serik Akhmetov and other. Reconciling resource uses in transboundary basins: assessment of the water-food-energy-ecosystems nexus in the Syr Darya River basin (shared by Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan and Uzbekistan). UNECE, Geneva, 2016, 43c. [www.unece.org/env/water/](http://www.unece.org/env/water/)
  14. Ниязов Дж.Б. Влияние климатических факторов на гидрологический режим реки Фондаря // Водные ресурсы, энергетика и экология, 2002. - Т.2. - №3. - С.34-39.
  15. Пулатов Я.Э., Ниязов Дж.Б. Информационная система управления ирригацией в бассейне реки нижний Кафирниган с применением ГИС технологий. Материалы международной конференции ТАУ им.Ш.Шотемур, Душанбе, 2020 С.
  16. Пулатов Я.Э., Ниязов Дж.Б., Саидумаров С.С. Информационная система управления ирригацией в бассейне реки Зерафшан с применением «НЕКСУС» оценки и ГИС технологий. Ж. Водные ресурсы, энергетика и экология. Душанбе, 2021 №1 (1). –С.75-82.
  17. Оценка взаимосвязи водных, энергетических, продовольственных и экосистемных ресурсов в контексте Центральной Азии. Учебное пособие. ЕЭК ООН, Казахского Немецкого университета (DKU): Жарас Такенов, Алексей Кобзев, Лариса Когутенко, Майра Кусаинова, Мархабо Ёдалиева и Барбара Януш-Павлетта., Алматы, 2020, 77с.

## РАВИШИ NEXUS (ОБ-ХҶРОКВОРӢ-ЭНЕРГИЯ-ЭКОЛОГИЯ) ВА ҲАДАФҲОИ РУШДИ УСТУВОР ДАР ЗЕРИ ТАҒЙИРОТИ ИҚЛИМ

Пулатов Я.Э.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Институт масъалаҳои об гидроэнергетика ва экология Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

\*Муаллифи масъул. E-mail: [tj\\_water@mail.ru](mailto:tj_water@mail.ru)

**Шарҳи мухтасар.** Ин мақола натиҷаҳои таҳқиқотро пешниҳод менамояд, ки механизмҳои илман асоснокшудаи алоқамандии об-энергетика-хӯрокворӣ-экологияро дар шароити тағйирёбии иқлим дар бар мегирад. Он заминаи таърихӣ равиши NEXUS ва татбиқи онро дар банақшагири ва идоракунии соҳавӣ пешниҳод мекунад. Он методологияи раванди тадқиқотро тавсиф мекунад ва модели концептуалии алоқамандии об-энергетика-хӯрокворӣ-экологияро таҳия мекунад. Он ҷаҳорҷӯбаи сиёсати ҷаҳониро барои пешбурди равиши NEXUS барои рушди устувор муайян мекунад ва алоқамандии байни ҳадафҳои гуногуни рушди устуворро тавсиф мекунад.

**Калидвожаҳо:** методологияи арзёбӣ, равиши NEXUS, алоқамандӣ, захираҳои об, гидроэнергетика, хӯрокворӣ, экология, идоракунии, модели концептуалӣ, ҳадафҳои рушди устувор.

## NEXUS APPROACH (WATER-FOOD-ENERGY-ENVIRONMENT) AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE.

Pulatov Ya.E.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Water Problems, Hydropower, and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan*

<sup>\*</sup>*Corresponding author. E-mail: tj\_water@mail.ru*

**Abstract.** This article presents the results of research examining scientifically based mechanisms for the water, energy, food, and environment nexus in the context of climate change. It provides the historical background of the NEXUS approach and its use in sectoral planning and management. It describes the research methodology and develops a conceptual model of the water, energy, food, and environment nexus. It outlines the global policy framework for promoting the NEXUS approach for sustainable development and describes the interrelations between the various Sustainable Development Goals.

**Keywords:** assessment methodology, NEXUS approach, nexus, water resources, hydropower, food, environment, governance, conceptual model, Sustainable Development Goals.

**Маълумот дар бораи муаллиф:** Пулатов Яраш Эргашевич – доктори илмҳои кишоварзӣ, профессор, мудири Шуъбаи идоракунии захираҳои об ва обсарфаномии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: 111-17-75-56; E-mail: tj\_water@mail.ru;

**Сведения об авторе:** Пулатов Яраш Эргашевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий отдела управления водными ресурсами и водосберегающий Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: 111-17-75-56; E-mail: tj\_water@mail.ru;

**Information about the author:** Pulatov Yarash Ergashevich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Water Resources Management and Water Saving of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tel.: 111-17-75-56; E-mail: tj\_water@mail.ru;

ТДУ 631.4

## РОҲҲОИ МЎЪТАДИЛГАРДОНИИ РЕҶАИ ОБӢ – НАМАКИИ ЗАМИНҲОИ ШӢРИ КӢҲНАОБӢРИШАВАНДАИ ТОҶИКИСТОНИ ШИМОЛӢ

Собиров М.С.<sup>1,\*</sup>, Мисиров А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Муассисаи давлатии таълимии “Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи академик Бобоҷон Ғафуров”*

<sup>\*</sup>*Муаллифи масъул. E-mail: m.s.sobirov@mail.ru*

**Шарҳи мухтасар.** Дар мақола вазъи кунунии заминҳои шӯри кӯҳнаобёришавандаи Тоҷикистони Шимолӣ тавсиф дода шуда маълумотҳои мавҷудаи таҳқиқотӣ таҳлил гардидааст. Муқаррар карда шудааст, ки реҷаи обӣ – намакии заминҳои шӯр дар натиҷаи муҳлатҳои гуногуни обёрии сунъӣ ва шароити табиӣ, геологӣ ва гидрологӣ дар ҳудуди обанбори “Баҳри Тоҷик” таҳти таъсири антропогенӣ қарор доранд ва шӯришави онҳо ҷараёни мутаасирро дар бар мегирад ва ба ҷорачӯии ҳатмии ташикили – техникӣ ниёз дорад. Натиҷаи таҳқиқотҳои мушаххаси ҷараёни зикрфита баён карда шудаанд. Аниқ карда шудааст, ки сабаби асосии тағйироти манфии реҷаи обӣ-намакии заминҳои кӯҳнаобёришаванда дар ҷараёни истифодаи мунтазами захираҳои замин тавассути технологияҳои интенсивӣ ва обёрии сунъӣ бо усули обмонии ҷўякҳо мебошад, ки ба шӯришави дуюмбора моил шудани ҷараён ишора менамояд. Ошкор мегардад, ки сабаби дигари шӯришави заминҳои қораи Тоҷикистони Шимолӣ ба сохтору таркиби гранулометрии пӯишии хокӣ алоқаманд аст, ки дорои хусусияти регио гилӣ ва сангрзаҳо мебошад, ки боиси шустаишави маҳинзарраҳои хок аз қабатҳои болоӣ ба поёнӣ шуда метавонад. Қайд карда мешавад, ки ҳаракати маҳинзарраҳо ба қабатҳои поёнии хок ба ташиаккули қабати алоҳида мусоидат намекунад, вале ба тағйироти таркиби гранулометрии қабатҳои хок оварда мерасонад.

**Калидвожаҳо:** заминҳои шӯр, реҷаи обӣ – намакӣ, шароитҳои гидрологӣ, геологӣ ва табиӣ, обанбори “Баҳри Тоҷик”, ҷараёни шӯришавӣ, роҳҳои мўътадилгардонӣ, мелиоратсия



## Муқаддима

Мушкилоти мелиоратсияи заминҳои шӯр, ки дар заминаи чараёни табиӣ хокпайдошавӣ ба вучуд омадаанд ва пешгӯию пешгирии шӯршавии дуюмбораи онҳо зери таъсири обёрии сунъии заминҳои қорам дар шароити иқлими континенталии шадид бо ҳарорати баланди шабонарӯзӣ ва боришоти ночизи солоне давоми солҳои тӯлонии асрҳои XX ва XXI – мавриди таваҷҷӯҳи олимони хориҷӣ ва ватанӣ қарор гирифтааст. Дар шароити табиӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон заминҳои шӯр дар маҳалли мухталифи Шимол, Ҷануб ва Марказӣ муайян карда шудаанд ва дар маҷмӯъ масоҳати баробар ба 110430 ҳазор гектарро ташкил медиҳанд, ки тақрибан чоряк ҳиссаи захираи умумии заминҳои қорам мебошад. Алалхусус, бунёди обанборҳои сунъӣ бо мақсади захиранамоеии оби фазлӣ, танзими маҷрои оби дарёҳо, тавлиди нерӯи барқ ва ҳоказо барои тезутундшавӣ ва тағйироти чараёни хокпайдошавӣ мусоидат кардааст, ки ба васеъшавии масоҳати заминҳои шӯр оварда мерасонад. В.А. Ковда (1977), И.Н. Антипов – Каратаев, П.А. Керзум (1957), М.А. Аминҷонов. В.К. Киреев (1974), Х.У. Юлдошев (2001, 2012) ва дигарон дар натиҷаи таҳқиқи ҳаракати геоморфологияи литологӣ, гидрогеологияи пӯшиши хокӣ, системаи ирригатсионӣ ва шабакаи захбуру захкашҳо, системаи хоҷагидорӣ муташаккили пешина ва ҷудогонаи муосир усулҳои гуногун ва тадбирҳои мушаххаси илмиро ҷиҳати мелиоратсияи заминҳои шӯр пешниҳод намудаанд. Исбот карда шудааст, ки ҳангоми истифодаи тӯлонии обёрии заминҳои қорам таносуби муайяни речаи обу намак ба мушоҳида мерасад, ки таҳияи усулҳои мувозинатӣ дар ояндаро тақозо менамояд, барои пешгуии чараёни баҳодихии ҳолати мелиоративии минтақа зарур мебошад [2, 4, 5].

Муҳаққиқони сершуморе, ки дар омӯзиши хусусиятҳои речаи обӣ-намакии пӯ-

шиши хокӣ фаъолияти илмӣ мебаранд, масъалаи дорои шӯрӣ будани маҳинзарраҳои бо оби фазлӣ дохили қитъаи замин мешударо сарфи назар мекунанд. Ҳол он, ки таркиби элементҳои комплекси ҷаббанди хок зери таъсири обёрии сунъӣ тағйир ёфта пайвастагиҳои шӯриро ба худ ҷазб мекунад. Масъалаи мазкур мебошад мавриди таҳқиқоти назариявӣ ва амалии мутахассисони соҳаҳои ҳамгиро қарор дода шуда, механизми чараёни зикргардида бо пуррагӣ аниқ карда шаванд. Зеро, эҳтимол меравад, ки зухуроти шӯршавии дуюмбораи заминҳои қуҳнаобёришаванда ба ҳаҷм, андоза, таркиби элемент ва хусусиятҳои дигари маҳинзарраҳои таркиби оби фазлӣ алоқаманд бошад [3, 7].

Усулҳои муайян кардани элементҳои тавозуни обу намак, ҳудуди обёришаванда бо объектҳои мелиоративӣ тавассути банақшагириӣ, ҳисоби қимати бухоршавӣ ба воситаи набототи кишоварзӣ дар ҳолати ҷойгиршавии наздики обҳои зеризаминӣ ва амсоли онҳоро Дунин – Барковский А.В. (1976) таҳқиқ намуда муайян кардааст, ки ҳаҷми солонеи бухоршавии растании рогоз – 31 ҳазор м<sup>3</sup>, қамиш – 30 ҳазор м<sup>3</sup>, бед – 13,5 ҳазор м<sup>3</sup>, пахта 7,9 ҳазор, юнучқа – 9,8 ҳазор метри мукаабро ташкил медиҳад ва омили муҳими пастравии сатҳи оби зеризаминӣ мешавад. Беседов П.Н. (1981) қайд менамояд, ки пайдоиши заминҳои шӯр дар депрессияи Фарғонаи ғарбӣ (ҳудуди Тоҷикистони Шимолӣ) ба мавҷудияти зарраҳои газ (CaSO<sub>4</sub>) ва карбонати калтсий (CaCO<sub>3</sub>) алоқаманд мебошад, ки миқдори онҳо мутаносибан 50 – 70 ва 30 – 40 фоизро ташкил медиҳад. Ҳолати мазкур ба пайдошавии қабати саҳти обногузар (шоҳ) мусоидат кардааст, ки мебошад ҳангоми нақшаи азхудкардани ин заминҳо ба эътибор гирифта шавад.

Сангинов С.Р., Алиев И.С., Аминҷонов М.А. (2001) қайд менамояд, ки аз масоҳати умумии заминҳои шӯри мавҷудан

Ҷумҳурии Тоҷикистон (110 – 130 ҳазор гектар) тақрибан 34 ҳазор гектари он бо сабабҳои табиӣ шӯр шудаанд ва масоҳати боқимондари заминҳои дуюмбора шӯршуда яъне зери омили антропогенӣ ташкил медиҳанд. Дар натиҷа заминҳои шӯри Тоҷикистонро мутобик ба омилҳои гуногун мансуб ба ду гурӯҳ – гурӯҳи заминҳои шӯри табиӣ ва гурӯҳи заминҳои дуюмбора шӯршуда ҷудо мекунам. Ҷои ба қайд аст, ки масоҳати заминҳои шӯри мансуб ба гурӯҳи якум дар пастиҳои Қамишқурғон, Шакаркӯлу Урмонтоли ноҳияи Ашт, мавзӯҳои Ҳошимкӯл, Маҳрам, Ниёзбеки ноҳияи Конибодом, қисман заминҳои мавзеи Мирзочули ноҳияи Зафаробод муайян карда шудаанд. Заминҳои зери таъсири антропогенӣ дуюмбора шӯршуда дар аксари минтақаҳои қунаобёришавандаи Тоҷикистони Шимолӣ ба мушоҳида мерасанд [8, 11, 12].

Олимон мутахассисони ватанӣ бар он ақидаанд, ки сабаби асосии зухуроти шӯршавии дуюмбараи заминҳои қорами Тоҷикистони Шимолӣ, хусусан минтақаи пахншавии хокҳои хокистарранги бури санглох ҷараёни азхуд кардани заминҳои бекорхобида бидуни риояи талаботҳои мавҷудаи заминистифодабарӣ мебошад. Бунёди обанборҳои сунъии “Баҳри Тоҷик” ва “Фарҳод” низ ба ин раванд таъсири калони манфӣ расонидааст. Ҳамаи ин зухуроти манфӣ ба ҳосияти баланди филтратсионии хоки хокистарранги бўри санглох алоқамандӣ дорад. Зеро, ҳангоми обёрии заминҳо баъди азхудкунӣ ва истифодаи онҳо дар истеҳсолоти кишоварзӣ обҳои фоида аз қабатҳои болоии хок бо тезӣ ба қабатҳои поёни ҳаракат мекунам, яъне мегузаранд. Дар ин раванд захираи оби зеризаминии маҳал зиёд мегардад ва боиси ба сатҳи боло наздик шудани сатҳи обҳои зеризаминӣ мешавад. Бар замми он, ҷараёни мутаасили мавҷудаи инфилтратсионӣ аз обанборҳои сунъӣ раванди зикрфтаро боз ҳам тезутунд тақвият

медиҳанд. Масалан, аниқ қарда шудааст, ки давоми солҳои 2001 – 2020 – ум ҳолати мелиоративии заминҳои қорам дар ноҳияҳои Ашт, Конибодом, Мастҷох, Спитамен, Зафаробод ва Ҷаббор Расулов ва бадшавии ҳолати мелиоративии заминҳо ба пастравии маҳсулнокии истеҳсолоти кишоварзӣ, аз ҷумла растанипарварӣ мусоидат қардааст. Инчунин, ошкор қарда шудааст, ки солҳои охир баҳри барта-рафсозии норасоии оби фоида дар баъзе моҳҳои тобистон ҳиссаи истифодаи оби захираи захираҳои қорам обёрии киштизорҳои тарафӣ афзуда истодааст ва ин ҳолат ба зиёдшавии захираи намак дар қабатҳои болоии пӯшиши хокӣ мусоидат қардааст [13, 15]. Сабабҳои дигари шӯршавии дуюмбараи заминҳои қорам фаврияти номунтазам ва қаммаҳсули ҷӯҳои обқашӣ амудии мелиоративӣ, системаи захираи захираҳои, риояи нағардидани рӯза ва техникаи обёрӣ, талаботҳои агромилиоративӣ мебошад, ки боиси дар маҳалҳо баланд рафтани сатҳи оби зеризаминӣ ва консентратсияи намак дар пӯшиши хокӣ шудааст.

Натиҷаи мушоҳидаҳои саҳроӣ ва ташҳиси озмоишгоҳии намунаҳои хок ва об исбот менамоянд, ки ҳаракати зарраҳои шӯрӣ аз боло ба поёни қабатҳои хок ва баръакс вобаста ба фаврияти қабилҳои хок ва ҷараёни бухоршавӣ тӯли фаслҳои сол идома меёбад ва фақат дар мавсими обёрӣ шиддати зиёдтар пайдо мекунад. Мебояд таъкид сохт, ки маҳз дар ин давра тағйироти назаррас ё қул-ли рӯзаи обӣ-намакии пӯшиши хокӣ ба амал меояд. Бинобар ин, масъалаи мазкур таҳқиқи ҳосари тақозо менамояд, ки мебояд тавассути таҳияи моделикунони ҷараён мавриди назар қарор гирад [16].

Мувофиқи маълумотҳои омӯри масоҳати умумии заминҳои дараҷаи шӯрнокии гуногундошта ба 01.01.2020 дар вилояти Суғд ба 47373 гектар баробар буда, бештари онҳо дар ноҳияҳои Ашт,



Конибодом ва Бобоҷон Ғафуров ҷойгир шудаанд. Қайд мегардад, ки сатҳи оби зеризаминии аз 3 метр болотар беш аз 22700 гектарро ташкил медиҳад, ки қимати маъданнокии онҳо баробар ба 2,5 – 6 г\л мебошад ва метавонад сабаби асосии шӯршавии дуҷумбораи заминҳои қорам, алалхусус дар минтақаи пахншавии хокҳои хокистарранги бӯри санглох гардад [17]. Дар ин васила муайян намудани речаи обу намак, нишондиҳандаҳои шусташавии намакҳо аз қабати хок, сатҳи оби зеризаминӣ, меъёри шӯршӯии заминҳо, истифодаи самараноки нуриҳои органикию маъданӣ, ҳосиятҳои обуфизикӣ, агрокимёвӣ ва ғайра дар ин намуди хок тадбири муҳим ва аввалиндараҷаи экологӣ мебошад, ки мақсаду ҳадафҳои асосии таҳқиқоти мазкурро дар бар гирифтааст.

Усулу услубҳои таҳқиқот дар асоси тавсияҳои муқарраргаштаи самти хокшиносии мелиоративӣ ва дигари пажӯҳишгоҳҳои Федератсияи Россия ва Ҷумҳурии Тоҷикистон истифода гардидааст. Элементҳои мувозинати обунамак бошад, дар заминаи маълумоти идораҳои давлатии беҳдошти замин ва обёрӣ, назорати обҳои зеризаминӣ ва бойгонии Стансияи таҷрибавии хокшиносию мелиоративии вилояти Суғд ҳисоб карда шудааст [19]. Дар чараёни таҳқиқот ба сифати элементҳои асосии мувозинати обу намак дар хокҳои хокистарранги бӯри санглох ҳаҷми боришоти табиӣ меъёрҳои обёрӣ бухоршавии умумӣ инфилтратсияи об мувофиқи элементҳои релйефи маҳал, дараҷаи ғайролияти системаи захбуру захкашҳо, ҳаракати заррачаҳои шӯри дар қабатҳои хок ва ҳоказо ба инобат гирифта муайян ва ҳисоб карда шудаанд.

Мебояд таъкид кард, ки дар доираи мақолаи мазкур барои инъикоси чараёни тағйирёбии элементҳои речаи обӣ – намакӣ зарур шуморида шудааст, ки натиҷаи таҳқиқоти ҳисоботии олимони Стансияи таҷрибавии хокшиносию ме-

лиоративии вилояти Суғд давоми солҳои 2010 – 2015 низ истифода шудаанд, ки тахти №0102 ТД 987 дар феҳрасти мавзуҳои илмӣ тадқиқотии давлатӣ мавриди қайди давлатӣ қарор гирифтааст. Ба сифати объекти таҳқиқот мувозинати об ва намаки воқеии ноҳияи Конибодом муқаррар шудааст, ки барои арзёбии чараёни мавҷудаи обӣ – намаки тамоми минтақаи пахншавии хокҳои хокистарранги бӯр характернок аст, интиҳоб карда шудааст.

Таҳлили маълумоти назариявии мавҷуда гувоҳӣ медиҳад, ки ҳангоми арзёбии речаи обӣ-намакӣ, хусусан дар заминҳои қуҳнаобёришаванда таъсири бевосита ва мутақобилаи боқимондаҳои нуриҳои маъданӣ – пайвастагиҳои химиявии ғайро ба шӯршавӣ дар шароити хоки хокистарранги бӯрӣ бо таркиби гранулометрии сабук аз мадди назари таҳқиқот берун мемонад. Ҳол он, ки давоми солҳои тӯлонӣ дар киштзорҳои пахта, ҷувори-макка ва зироатҳои дигари кишоварзӣ ҳаҷми хеле бузурги нуриҳои маъдании нитрогенӣ, фосфорӣ ва калийдор истифода гардидааст, ки сабабгори ба муҳити хокӣ ворид гаштани ҳаҷми назарраси пайвастагиҳои химиявии гуногун шудааст. Таъсири ин пайвастагиҳо ба реаксияи муҳити маҳлули хокӣ хеле гуногунчанба буда, эҳтимолиан яке аз манбаҳои тағйироти речаи обӣ-намакии заминҳои қуҳнаобёришаванда бошанд. Зеро, дар маҷмуъ, нуриҳои маъданӣ, намуди махсуси намакҳои химиявӣ маҳсуб меёбанд ва ба муҳити хокӣ таъсири бевосита мерасонанд [14, 18].

Маълумотҳои мавҷуда гувоҳӣ медиҳанд, ки дар мувозинати оби ноҳияи Конибодом давоми солҳои 2011 – 2015 обҳои ползӣ ҳиссаи асосиро ташкил менамоянд, ки қимати 52,2 % - ро соҳиб аст. Дар ҳудуди ноҳия тақрибан 70,9% ё худ 155,9 млн,м³ обҳои ползӣ аз ҳисоби ғайролияти 5 канали мавҷуда, аз ҷумла Канали калони Фарғона ва пойгоҳҳои обкашӣ аз обанбори “Баҳри Тоҷик” гирифта меша-

вад. Ҳаҷми боқимондаи эҳтиёҷот ба оби полезӣ аз ҳисоби оби захбуру захкашҳо таъмин карда мешавад, ки қимати он ба 23,3% ё худ 62,6 млн.м³ баробар аст. Ҳаҷми умумии обгирӣ ба 212,5 млн.м³ баробар буда, қисман аз оби дарёи Исфара низ пурра мегардад. Дар қисмати хароҷоти мувозинати оби ноҳия ҳиссаи асосиро партовоби захбурҳо ташкил медиҳад. Вале, дар солҳои камобӣ ё хушк омадани сол (масалан, соли 2011) нишондиҳандаҳои хароҷоти об аз ҳисоби болоравии бухоршавӣ ва камшавии ҳаҷми партовоби захбурҳо то 22-24,3 ғоиз камтар мешавад. Сабаби воқеии ин ҳолат паstra-

вии сатҳи оби обанбор ва фишори он ба обҳои зеризаминӣ мебошад, ки аз 159,2 млн.м³ солҳои мӯътадил дар солҳои хушк ба 129,4 млн.м³ баробар мешавад, яъне 29,8 млн.м³ камтар мегардад. Пастравии фишори обанбор ба паёншавии сатҳи оби зеризаминӣ ва камшавии оби захбурҳо оварда мерасонад, ки дар маҷмӯъ қимати то 81,2 млн.м³ – ро ташкил медиҳад [9, 12].

Ҳолати мазкур ба ғаъолияти мунтазам ва маҳсулнокии 8 адад пойгоҳҳои обкашии ноҳия низ таъсири мутлақ мерасонад. Хулосаҳои таҳлили баёнгардидаро маълумотҳои дар ҷадвали 1 овардашуда тасдиқ менамоянд.

**Ҷадвали 1.** Тағйирёбии таносуби элементҳои мувозинати обӣ дар ноҳияи Конибодом давоми солҳои 2019-2023

Элементи таносуб	2019	2020	2021	2022	2023	Ҳисоби миёна 2019-2023
Даромад						
Обёриккунӣ	242,4	237,1	164,3	152,8	155,6	190,6
Обҳои зеризаминӣ	29,5	28,6	28,6	29,0	32,8	30,1
Боришот	116,3	141,8	174,1	185,9	178,0	159,2
Ҳамагӣ:	389,2	407,5	367,0	367,7	368,4	379,9
Баромад						
Бухоршавии умумӣ	171,4	165,7	165,7	168,4	168,4	167,9
Партови захбуру захкашҳо	217,8	241,8	201,3	199,3	200,0	212,0
Ҳамагӣ:	389,2	407,5	367,0	367,7	368,4	379,9

**Ҷадвали 2.** Нишондиҳандаҳои сатҳи маъданнокии манбаҳои гуногуни обии ноҳияи Конибодом дар давоми солҳои 2019-2023

Сарчашмаи об	2019	2020	2021	2022	2023	Бо ҳисоби миёна
Обёришаванда	1,53	1,66	1,56	0,88	0,90	1,36
Захбуру захкашҳо	2,67	2,66	2,75	2,33	2,36	2,55
Зеризаминӣ	2,25	1,96	1,89	1,97	2,09	2,03

**Ҷадвали 3.** Динамикаи мувозинати обӣ-намакии заминҳои ноҳияи Конибодом давоми солҳои 2019-2023

Элементҳои таносуб, +	2019	2020	2021	2022	2023	Ҳисоби миёна 2019-2023
Доҳилшавии намак						
Бо оби обёришаванда	291	275	195,5	134,5	140,0	269,2
Бо обҳои зеризаминӣ	261,6	277,7	395,2	366,2	372,0	321,3
Ҳамагӣ	553,7	552,9	634,5	500,7	512,0	590,5

Баромади намак						
Бо партови захбуру захкашҳо	581,5	643,2	553,6	464,4	472,0	542,9
Таносуб +						
Тағйирёбии захираи намак дар қабати аэратсия	-27,8	-90,3	+37,1	+36,3	+40,0	+47,6

Мувозинати намак ё шӯрӣ дар минтақаи обёришавандаи ноҳияи Конибодом қимати номунтазам ё тағйирёбандаро доро буда, зери таъсири сатҳи оби обанбор ва фаъолияти антропогенӣ қарор дорад. Масалан, мувофиқи ҳисобҳо фишори обанбор боиси то 232, 9 ҳазор тонна омадани намак ба қабатҳои хок ва обҳои зеризаминии ноҳия мешавад. Ҳол он, ки ҳаҷми умумии намакҳои ба ҳудуди ноҳия меомада дар маҷмӯъ ба 359,2 ҳазор тонна баробар буда ба ҳар як гектари заминҳои корам тақрибан 12,6 – 13,5 тонна рост меояд. Мебояд зикр кард, ки аз ҳаҷми қайдшудаи намакҳо ҳаҷми зиёди он то 296,2 ҳазор тонна намакҳои зудҳалшаванда буда тавассути фаъолияти пойгоҳҳои обпарто аз оби захбурҳо кашида ба акваторияи обанбори “Баҳри Тоҷик” бозмегардад [4, 15, 19]. Натиҷаи мушоҳидаҳои саҳроӣ, ташхисҳои лабораторӣ ва таҳлили маълумотҳо исбот менамояд, ки дар қишри замини ноҳияи Конибодом ҷараёни мунтазами зиёдшавии шӯрӣ дар қабати ҳавогардии хок ба назар мерасад ва дар маҷмӯъ захираи ғуншудаи намакҳои зудҳалшаванда дар қабатҳои хок ба амал меояд. Масалан, аз маълумотҳои ҷадвали 2 бармеояд, ки мувозинати шӯрӣ дар заминҳои ноҳияи Конибодом аз самти манфӣ ба мусбат ноил гашта миқдори намак дар як сол ба 63 ҳазор тонна зиёд шудааст. Маълумотҳои овардашуда шаҳодат медиҳанд, ки дар заминҳои минтақаи обёришавандаи ноҳия ҷараёни шӯршавии дуҷумбора гузашта истодааст ва ҷораандешии фавриро ҷиҳати беҳтар кардани ҳолати мелиоративии заминҳои корам ва ҳифзи қабати хокиро аз шӯршавӣ тақозо менамояд.

Таҳлили ҳамаҷониба нишон медиҳад, ки ҳаҷми зиёди мувозинати об дар ҳудуди ноҳияи Конибодом ба моҳҳои июн – сентябри сол рост меояд, ки ҳаҷми он 43,7 – 52,4 млн.м³ баробар аст ва бо ҳисоби миёна 16,4 – 19,7 ҳазор м³ ба 1 гектар заминҳои корамро ташкил медиҳад. Дар давраи зикршуда бо заминҳои корам 62,4 – 71,4 ҳазор тонна намакҳои зудҳалшаванда ворид гардида бошад ҳам, қисми муайяни намакҳо (21,4 – 28,2 ҳазор тонна) ба воситаи захбурҳо ва пойгоҳҳои обпарто ба муҳити оби обанбор бозпас гардонидани мешаванд. Дар натиҷаи ин раванд қисми асосии шӯрии баробар ба 41,0 – 43,2 ҳазор тонна дар қабатҳои хок ҷойгир мегардад. Таъкид карда мешавад, ки зери таъсири омилҳои табиӣ антропогенӣ маъданнокии обҳои фойда аз ҳамаи манбаҳо нисбат ба меъёрҳои мавҷуда баландтар мебошад ва 0,8 – 1,31 г/л – ро ташкил медиҳад. Ин нишондиҳанда дар партовҳои захбурҳо - 1,72 – 2,71 г/л ва оби ҷохҳои амудии обкаш 0,82 – 1,22 г/л мебошад, ки ба баланд будани маъданнокии умумии обҳои зеризаминии ҳудуди ноҳия ишора менамояд. Дар натиҷаи ҷунин омилҳои номунтазамии мувозинати намакҳо, бадшавии ҳолати мелиоративии заминҳои корам ва шӯршавии дуҷумбораи қабати хокӣ ба мушоҳида мерасад, ки боиси ҳалалдор гардидани фаъолияти системаи решаи растаниҳои маданӣ ва паст шудани маҳсулнокии биологии онҳо шуда метавонад [7, 10]. Хусусан, тағйирёбии таркиби химиявии пӯшиши хокӣ дар давраи нашъунамо ба нишондиҳандаҳои речаи обӣ-намакии хоки хокистарранги бўрии санглох таъсири мутлақ мерасонад.

Натиҷаҳои мушоҳидаҳои саҳроӣ,

ташхисҳои лабораторӣ, заминаҳои назариявӣ ва таҳлилу омӯзишҳои пайвастаи муҳаққиқон собит мезозанд, ки барои дарёфти роҳҳои танзим ва муътадилгардонии речаи обӣ-намакии заминҳои шӯри кӯҳнаобёришавандаи Тоҷикистони Шимолӣ гузаронидани мониторинги тӯлонии гуногунҷанба ба ҷалби мутахассисони самтҳои гидрология, геохимия, хокшиносии мелиоративӣ ва ҳоказо зарур ва ҳатмӣ мебошад. Дар ин ҷода мебошад Барномаи давлатии беҳтар кардани ҳолати мелиоративии заминҳои қорам қисмати таҳқиқоти ҳосаи речаи обӣ-намакиро пешбинӣ намояд. Маҳз, чунин тадбир метавонад заминаи таҳияи усул ё ҷорабиниҳои мушаххас ҷиҳати пешгирии шуршавии дуҷумбора ва паст кардани сатҳи шурии заминҳои қорам бошад.

#### Адабиётҳо

- Акрамов Ю. Органическое вещество почв вертикальной поясности Таджикистана. Автореф. дисс. на соиск. уч. степени докт. с/х наук. Душанбе, 1978. – 91 с.
- Алиев И.С. Характеристика физических свойств серозёмов. Душанбе. Тр.НИИ почвоведения, Т.22. – С.37-48
- Алиев И.С., Турсунов Д. Создание и наращивание плодородия каменистых почв Таджикистана. Тезисы докладов Всесоюзного совещания по вопросам повышения плодородия орошаемых почв Средней Азии. Андижан, 1983. - С.37-44
- Аминджанов М.А. Мелиорация засоленных почв – грунтов с очень слабой водопоницаемостью в Яванской долине. - Автореф. дис.на соиск.уч. ст. канд. с-х наук. – Душанбе, 1974. с 25
- Ахмадов Х.М., Бухориев Т.А., Комилзода Д.К. Основные приоритеты развития сельского хозяйства Республики Таджикистан. Материалы межд. науч. конф. “Актуальные проблемы развития сельскохозяйственной науки”. Душанбе, 27-28 октября 2011. – С.12-17
- Геология СССР том XXIV. часть II. Москва: Наука, 1961. – 417 с.
- Грабовская О.А., Леонтьева Р.С., Кутеминский В.Я. Почвенный покров северной части Ленинабадской области. Отчет Тадж. НИИ почвоведения. Душанбе, 1968. - 112 с.
- Докучаев В.В. Избранные сочинения. Москва, Изд. Колос, Т.7., 1982. - 633 с.
- Домуллоджанов Х.Д. К вопросу поливных режимов сельскохозяйственных культур в условиях Таджикистана. Журнал: «Хлопководство» №3, 1966 и №6, 1970 г.
- Зайдельман Ф.Р. Методика исследования некоторых физических и водно-физических свойств каменистых почв. Почвоведение 1957 №1. – С.124-128
- Ковда В.А. Аридизация суши и борьба с засухой. – М., “Наука”, 1977. - 272 с.
- Крупномасштабное почвенно-агрохимическое картирование орошаемой зоны Ленинобадской области Тадж. ССР. 1964-1970 г. Таджикгипрозем, НИИ почвоведения, 1970. – 114 с.
- Кутеминский В.Я., Леонтьева Р.С. Почвы Таджикистана. Душанбе: Ирфон, 1966
- Рахимов Ш.А. Влияние биоминеральных мелиорантов и сидератов в наращивании плодородия серобурых щебнистых почв и продуктивность абрикоса. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. с/х наук. Душанбе, 2017. – 22 с.
- Сангинов С.Р. Актуальные проблемы повышения плодородия почв. В сборнике Труды НИИ почвоведения “Пути повышения плодородия почв Таджикистана”. Т. 39. “Дониш”, Душанбе, 2007. – С.7-18
- Султонов М. Плодородие мелиорированных новоорошаемых почв Таджикистана. – Душанбе, 1997. – 147 с.
- Таджикистан: природа и природные ресурсы. под ред. ак.Саидмуродов Х.М. Душанбе: Ирфон, 1982. – 431 с.
- Шейнкин И.С. Орошение в Таджикистане. Москва: “Колос”, 1972. – 303 с.
- Юлдашев Х.У., Ваксман Э.Г. Вопросы регулирования солевого режима почв в зоне подпора Кайраккумского водохранилища. Труды НИИ почвоведения, т.21, Повышение плодородия почв под хлопчатник, Душанбе, “Дониш”. 1980. – С.148-156.

## ПУТИ НОРМАЛИЗАЦИИ ВОДНО – СОЛЕВОГО РЕЖИМА СТАРООРЕШАЕМЫХ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ СЕВЕРНОГО ТАДЖИКИСТАНА

Собиров М.С.<sup>1,\*</sup>, Мисиров А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственное образовательное учреждение “Худжандский государственный университет имени академика Б.Гафурова”

\*Автор-корреспондент. E-mail: m.s.sobirov@mail.ru

**Аннотация.** В статье охарактеризованы нынешнее состояние засоленности староорошаемых земель Северного Таджикистана и анализируются имеющиеся данные исследований. Установлено, что водно – солевой режим засоленных земель находится под антропогенным давлением естественных, геологических и гидрологических условий территории водохранилище «Таджикское море» и засоление приобретает последовательный характер, поэтому нуждается в организационно – технических мерах. Освещены результаты конкретных исследований вышеуказанного процесса. Установлено, что основной причиной отрицательных изменений водно-солевого режима староорошаемых земель являются процессы последовательного использования земельных ресурсов посредством интенсивных технологий и искусственного орошения методом полива по бороздам, указывающее на приверженность к процессу вторичного засоления. Выявляется, что другой причиной засоление пахотных земель Северного Таджикистана связана с сложившейся структурой и гранулометрический составом почвенного покрова и отличающиеся наличием песчано-глинистых и мелко-каменистых фракций, что способствуют вымыванию илстых частиц с верхних горизонтов почва на нижние. Отмечается, что движение ила вниз по профилю почв не способствует образованию отдельного слоя, хотя приводит к некоторым изменениям гранулометрического состава почвенных слоев.

**Ключевые слова:** засоленные земли, водно – солевой режим, гидрологические, геологические и естественные условия, водохранилище «Таджикское море», процесс засоления, пути нормализации, мелиорация.

## WAYS TO NORMALIZE THE WATER-SALT REGIME OF OLD SALINE SOILS OF NORTHERN TAJIKISTAN

Sobirov M.S.<sup>1,\*</sup>, Misirov A.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Educational Institution “Khujand State University named after academician B.Gafurov”

\*Corresponding author. E-mail: m.s.sobirov@mail.ru

**Abstract.** The article describes the current state of salinity of old irrigated lands in Northern Tajikistan and analyzes available research data. It has been established that the water-salt regime of saline lands is under anthropogenic pressure of natural, geological and hydrological conditions of the territory of the reservoir "Tajik Sea" and salinization acquires a consistent character, therefore it requires organizational and technical measures. The results of specific studies of the above process are covered. It has been established that the main reason for the negative changes in the water-salt regime of old irrigated lands are the processes of consistent use of land resources through intensive technologies and artificial irrigation by the furrow irrigation method, indicating a commitment to the process of secondary salinization. It turns out that another reason for the salinization of arable lands in Northern Tajikistan is associated with the established structure and granulometric composition of the soil cover, characterized by the presence of sandy-clay and fine-stone fractions, which contribute to the leaching of silt particles from the upper soil horizons to the lower ones. It is noted that the downward movement of silt through the soil profile does not contribute to the formation of a distinct layer, although it does lead to some changes in the particle-size distribution of the soil horizons.

**Key words:** saline lands, water-salt regime, hydrological, geological and natural conditions, Tajik Sea reservoir, salinization process, normalization paths, melioration.

Маълумот дар бораи муаллифон: Собиров Мурод Собитчинович - номзади илмҳои кишоварзӣ, дотсенти кафедраи экология ва ҳифзи табиати факултети геоэкология ва туризми МДТ “Донишгоҳи давлатии Хуҷанд ба номи академик Бобоҷон Ғафуров”. E-mail: m.s.sobirov@mail.ru; Мисиров Амриддин Амонович - омӯзгори кафедраи геоэкология ва методикаи таълимии онӣ факултети геоэкология ва



туризми Муассисаи давлатии таълимии “Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи академик Б.Гафуров”. E-mail: amriddin.misirov.1991@mail.ru

Сведения об авторах: Собиров Мурод Собитджонович - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры экологии и охраны природы факультета геоэкологии и туризма Государственное образовательное учреждение «Худжандский государственный университет имени академика Бободжона Гафурова». E-mail: m.s.sobirov@mail.ru; Мисиров Амриддин Амонович - преподаватель кафедры геоэкологии и методики её обучения факультета геоэкологии и туризма ГОУ «Худжандский государственный университет имени академика Бободжона Гафурова». E-mail: amriddin.misirov.1991@mail.ru

About the authors: Sobirov Murod Sobitjonovich - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Nature Protection of the Faculty of Geoecology and Tourism of the State Educational Institution "Khujand State University named after Academician Bobojon Gafurov." E-mail: m.s.sobirov@mail.ru; Amriddin Amonovich Misirov - lecturer in the Department of Geoecology and Methods of Teaching, Faculty of Geoecology and Tourism, Khujand State University named after Academician Bobojon Gafurov. E-mail: amriddin.misirov.1991@mail.ru

УДК 551.583:551.54 (575.3)

## ОЦЕНКА И АНАЛИЗ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ, ТАКИХ КАК СЕЛИ И ОПОЛЗНИ В БАСЕЙНЕ РЕКИ ЗЕРАФШАН

Расулзода Х.Х.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников» Национальной академии наук Таджикистана

\*Автор-корреспондент: E-mail: hamidjon1966@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются особенности проявления селевых и оползневых процессов в бассейне реки Зерафшан, являющихся одними из наиболее распространённых и опасных природных катастроф региона. Отмечается, что формирование этих явлений связано с сочетанием климатических, геологических и сейсмических факторов, а также с интенсивным антропогенным воздействием. Приведены примеры катастрофических событий прошлых лет, повлёкших значительный материальный ущерб и человеческие жертвы. Подчёркивается, что ежегодные убытки от селей и оползней достигают миллионов сомони, что выражается в разрушении инфраструктуры и деградации земель. Отдельное внимание уделено проблемам мониторинга и прогнозирования стихийных бедствий, а также перспективам применения геоинформационных технологий и систем раннего предупреждения. В заключение обосновывается необходимость комплексных мер по снижению риска и минимизации последствий опасных экзогенных процессов в бассейне реки Зерафшан.

**Ключевые слова:** Зерафшан, бассейн реки, сели, оползни, природные катастрофы, климатические факторы, геология, сейсмичность, антропогенное воздействие, мониторинг, прогнозирование, снижение риска.

### Введение

Слово «сель» происходит от арабского слова «сайль», которое обозначает «бурный поток». Сель – это внезапный поток с высоким содержанием твёрдого материала, возникающий в гористых местностях, где имеются огромные запасы рыхлообломочного материала. Сели возникают во время сильных дождей, интенсивного таяния снега или льда, а также при прорыве завальных озёр [1-2]. Сели отличаются от других русловых процессов кратковременностью в сочетании со

значительным количеством одновременно перемещающихся рыхлообломочных продуктов выветривания горных пород, а также внезапностью возникновения. Именно неожиданность и внезапность возникновения делают сель опасным природным явлением.

В селевых потоках доля твёрдого материала, как правило, составляет от 15 до 70%, тогда как во временных или постоянных водотоках она обычно не превышает 1% от общего объёма. В результате при формировании селя в зоне его разгрузки



за короткий срок выносятся огромное количество твёрдого материала – иногда миллионы кубометров. Такая высокая насыщенность твёрдым материалом и обуславливает огромную разрушительную силу селей [3].

На основе проведенного анализа мы пришли к выводу, что большинство ученых придерживаются мнения о существовании трех групп факторов формирования селей:

1. Климатические и ландшафтные. К ним относятся ливневые осадки, таяние снежного покрова и горных ледников, наличие многолетней мерзлоты, а также характер почвенно-растительного покрова.

2. Геологические и геоморфологические. Эта группа включает особенности рельефа, состав и свойства горных пород, а также проявления эндогенных процессов (неотектоника, сейсмическая и вулканическая активность).

3. Антропогенные. К факторам этой группы причисляются вырубка лесов, чрезмерный выпас скота, последствия ведения горнодобывающих работ и другие виды хозяйственной деятельности.

Согласно многолетним статистическим данным [4], в том числе 95% селей вызваны ливнями или затяжными дождями. При этом пороговые значения солёнообразующих осадков варьируют от 15-20 мм/сутки, а в засушливых регионах до 100-200 мм/сутки во влажных.

Роль снежного покрова в селевом процессе, несмотря на недостаточную интенсивность чистого снеготаяния для формирования селевого расхода, проявляется в трёх ключевых аспектах:

- Синергия с дождями: Талая вода усиливает эффект ливней в период снеготаяния, провоцируя массовый сход селей.

- Снежниковые сели: Формирование специфических селей, питаемых талыми водами снежников.

- Водно снежные потоки: Зарождение

переходных явлений между селом и лавиной.

Сели. Согласно [5], в Республике Таджикистан в 2015 г. в результате резкого повышения температуры и выпадения осадков в виде дождя и снега произошёл массовый сход селей. Произошёл процесс наложения атмосферных осадков на интенсивное снеготаяние

Ледники вносят значительный вклад в селевую активность, выступая источником специфических гляциальных селей и формируя рыхлые толщи, которые длительное время снабжают селевые потоки твёрдым материалом. Эти сели способны формироваться как в периоды наступания, так и деградации ледников, однако их активность резко возрастает на этапах отступления [6]. Именно в это время у концов ледников образуются озёра, а непосредственными причинами схода селей становятся прорывы приледниковых и внутриледниковых водоёмов, а также обрушения моренных и фирново-ледяных масс.

В Таджикистане сели стоят на одном из первых мест по причинённому ущербу, наряду с наводнениями, приводящими к размыву берегов. Анализ статистических данных Агентства по гидрометеорологии КООС при Правительстве Таджикистана и Государственной службы наблюдений Главного управления геологии при Правительстве Республики Таджикистан показывает, что наиболее опасными и подверженными паводкам и селям являются долины следующих рек [7-9]:

1. Пенджикентский район: Могийнда-ра, Шинг, Фароб, Киштут;

2. Айнинский район: Фондаря и Ягноб;

3. Пенджикентский и Айнинский районы: Зерафшан.

Таким образом, на всей территории Таджикистана ежегодный ущерб от селевых потоков оценивается свыше 300 тысяч долларов США.

В настоящее время в Агентстве по гидрометеорологии КООС при Правительстве РТ создано мониторинговое подразделение, в котором ведутся наблюдения за образованием селей, а также делаются прогнозы на 24-48 часов. Прогнозы даются на основе синоптического анализа [10].

В бассейне реки Зерафшан встречаются в основном сели дождевого происхождения, образующиеся во время затяжных дождей. Редко образуются сели смешанного типа, в основном в верховьях реки Зерафшан. В их образовании кроме ливневых и затяжных дождей участвует и интенсивное таяние снега.

На карте показаны области накопления селевых отложений и пути транзита и частичного формирования селей. Образование селя происходит в селевом очаге, а его формирование продолжается в процессе движения селевых масс в русле водотока. Происходит размыв русловых и присклоновых отложений, которые вовлекаются в процесс обогащения селя твёрдой составляющей.

Среди селевых очагов были выделены локальные очаги, которые формируют селевой поток, а также рассредоточенные селевые очаги. В первой группе – очаг рассматривается как индивидуальный объект, во второй – как площадь, в пределах которой находится большое количество локальных микро очагов. Иногда к последней группе относились несколько сближенных селевых очагов, образующих общий конус выноса.

Среди всего многообразия классификаций селей можно выделить селевые потоки и селевые паводки [3]. К селевым паводкам относятся мощные водные потоки, возникающие во время паводков, которые несут с собой большое количество взвешенных наносов и обладают хорошей транспортирующей способностью. Выявлено несколько типов селевых паводков, различающихся по скорости, обломочному материалу и временным рам-

кам. Аккумулятивные формы селевого рельефа представлены грядами, террасами и конусами выноса. Основная форма воздействия селевых паводков – перестроение русла. Ярко выраженных очагов зарождения в этих районах практически нет, и сели возникают здесь при ливневых дождях, вызывающих размыв русловых отложений и бортов водотока. Селевых конусов выноса также практически нет. Селевые отложения скапливаются в расширениях русла, иногда не достигая устья водотока. Из-за незначительных уклонов русла, его извилистости скорость паводковых селей ниже, чем других типов селей. Поэтому они практически не вызывают разрушений, а лишь затапливают грязекаменной смесью возникающие на пути препятствия. Селевые паводки широко распространены в низко- и среднегорьях. Селевые паводки распространены в долине реки Зерафшан на обоих бортах долины в районе от Пенджикента до селения Дардар [9].

Надо отметить, что выделялись только те селевые явления, которые имеют ярко выраженные дешифровочные признаки. В принципе, при достаточно интенсивных дождях селевые процессы могут возникнуть практически в каждой долине при наличии достаточного количества рыхлого материала в русле и по бортам долины.

В селевых бассейнах районов, где присутствуют современные ледники, могут формироваться не только дождевые, но и гляциальные сели. Их возникновение напрямую связано с прорывными паводками, которые, взаимодействуя с рыхлыми мореными отложениями, превращают их в подвижную массу. Источником таких паводков служат ледниковые или подпруженные моренами озера, подверженные катастрофическим прорывам.

Существующие методики позволяют рассчитать параметры прорывного паводка, если имеются данные о морфометрии озера, свойствах его естественной

плотины и температуре воды. Проведенные оценки демонстрируют, что потенциальную селевую опасность представляют лишь 15-20% озер в моренно-ледниковых комплексах, так, как только их прорыв способен инициировать формирование разрушительного селя.

Опасность гляциальных селей усугубляется крайней сложностью, а зачастую и принципиальной невозможностью их точного прогноза. Наиболее вероятные прорывы приледниковых озёр происходят в пик летнего сезона или в его второй половине. Это связано с адвекцией чрезвычайно тёплых воздушных масс с южных направлений, вызывающей резкое, на 10-15°C, потепление в высокогорье. Данный процесс приводит к интенсивному таянию льда, переполнению озёрных чаш и, как следствие, к их катастрофическому прорыву.

Хотя на основе синоптических прогнозов о вторжении горячего воздуха можно предсказать саму вероятность таких событий, определить точное место схода селя практически нереально.

Что касается терминологии, в научной и практической сфере произошла существенная эволюция. Ранее широко использовался общий термин «селевая опасность». Однако в последние годы его вытеснило более комплексное понятие — «селевой риск». Оно интегрирует в себе не только активность селевых процессов, но и степень хозяйственного освоения потенциально опасной территории. «Селевая опасность – источник потенциально-го ущерба либо вреда или ситуация при формировании селевого потока с возможностью нанесения ущерба, а селевой риск – это сочетание частоты или вероятности формирования селя с определёнными характеристиками и последствий от этого опасного события» [11]. В данной работе термин «селеопасный» применяется с чисто качественных позиций, без рассмотрения возможного риска (ущерба)

для объектов. Селевые очаги, которые не представляют опасности для народно-хозяйственных или жилищных объектов показаны как не опасные.

Селеопасным периодом принято считать временной интервал в течение года, для которого характерно наличие предпосылок к зарождению селей. Разумеется, для непосредственного схода селевого потока требуется внешний триггер — таким импульсом может служить ливень, интенсивность и продолжительность которого превышают критические пороги, либо прорывной паводок с расходом воды, достаточным для мобилизации рыхлого материала.

Непосредственная фаза, когда возникает реальная угроза формирования селя, определяется как селеопасная ситуация.

Для точного определения границ селеопасного периода проводится ретроспективный анализ условий, приводивших к сходу селей в прошлом. Его начало, и окончание устанавливаются по датам устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C – весной в сторону положительных значений и осенью в сторону отрицательных. При этом обязательному учету подлежит внутригодовое распределение осадков, способных инициировать селевые процессы.

Согласно ряду исследований, ключевым условием является форма выпадающих осадков: при среднесуточной температуре воздуха  $\geq 2^\circ\text{C}$  они, как правило, имеют жидкую фазу, что существенно повышает риски.

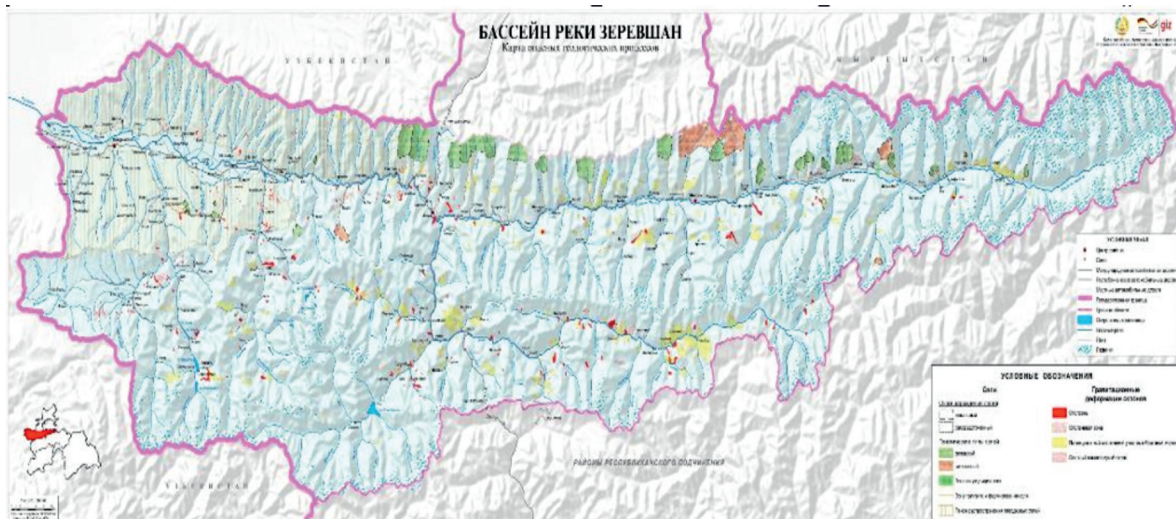
Ещё 22 мая 1873 года город Пенджикент пострадал от селей. Наибольшее количество селевых потоков в долине р. Зерафшан прошло весной 1969 года после уникально многоснежной зимы, когда склоны гор оказались насыщенными талой водой. Самые благоприятные условия для образования селей в долине р. Зерафшан складывались тогда, когда ливни выпадали на увлажнённую талыми

снеговыми водами территорию. Селами была охвачена зона от 1100 до 5100 м над уровнем моря - в высокогорной нивальной зоне прорывались переполненные приледниковые озёра, образуя гляциальные сели [7-9].

Согласно авторами [7], из селей в бассейне Зерафшана преобладают грязекаменные, затем наносоводные и грязевые. Средний объём селей 2-5 тысяч кубометров. Наиболее часто селевые потоки возникают в бассейнах рек Хушекат, Урметан, Иоры, Дуоба, Оби-Крут, Амандара, Чинор, Киштут, Могиёндарья, Шинг, то есть на всем протяжении долины р.Зерафшан от города Пенджикента до посёлка Айни.

Упрощённо можно выделить в долине Зерафшана четыре зоны селеобразования. Высокогорная зона: твёрдое пита-

ние – морены, жидкое – таяние ледников и снежников. Мощность селей значительная, но повторяемость редкая. Время образования – вторая половина лета. Среднегорная зона: преобладают грязекаменные сели. Твёрдое питание – материалы осыпей и оползней, жидкое – весеннего снеготаяния в сочетании с ливнями. По сравнению с предыдущим типом объёмы селей менее значительные, но повторяемость чаще. Среднегорная и низкогорная зоны: твёрдое питание – оползни, осыпи, неоген-четвертичная толща, жидкое питание – ливни в сочетании с весенним снеготаянием. Время образования апрель-май. Низкогорная зона: твёрдое питание – лёсы и молассы. Сели образуются при выпадении интенсивных дождей в течение весенне-летнего сезона. Преобладают селевые потоки грязевые и грязекаменные.



**Рисунок 1.** Карта опасных геологических процессов

Селеопасные районы присутствуют на протяжении всего бассейна реки Зерафшан, начиная от границы с Узбекистаном до самых истоков реки. Выделение районов обусловлено и тем, что высокогорные районы бассейна реки Зерафшан, а также её притоков по-разному подвержены влиянию фронтальных климатических вторжений, формирующих климат долинных горных районов данного бассейна и соответственно влияющих на образование селевых явлений.

Первый район (г. Пенджикент - п. Айни) захватывает долину реки, окружённую с севера и юга склонами Туркестанского хребта – южной экспозиции, склонами Зерафшанского хребта – северной экспозиции. А также бассейн реки Могиёндарья, являющейся левым притоком р.Зерафшан и протекающей в физико-географическом районе Фанских гор, сливающихся с отрогами Зерафшанского и Гиссарского хребтов. Высотная зона располагается в пределах 1000 м. у. м. у



города Пенджикент до 3100-4500 м. у. м – район Фанских гор [7].

По данным ряда ГМС среднегодовое количество выпадающих осадков (мм) составляет:

**Таблица 1.** Среднегодовое количество осадков (мм) за март–июнь

ГМС	III	IV	V	VI
Пенджикент	-	58	56	48
Искандеркуль	44	54	42	-
Сангистон	-	28	40	33
Перевал Шахристан	60	74	72	53

Не смотря на столь незначительное месячное выпадение осадков селе проявления отмечаются в данном районе ежегодно. Особенно активны месяцы апрель, май, июнь. Большое влияние на выпадение осадков оказывают западное вторжение и северо-западное вторжение осадков, которые нередко приносят в весенние месяцы значительное количество осадков. И нередко в этом районе осадки локального характера. В этом случае количество осадков колеблется от 25 до 38 мм/сутки, что приводит к случаям проявления селей. В мае 2015-2016 гг. в городе Пенджикент произошли селевые явления катастрофического характера. Сели, преимущественно грязекаменного типа. Но нередко сели и наносоводные (паводкового типа). Породы слагающие предгорья хребтов как

правило рыхлые и это приводит к образованию грязекаменных селей, приносящих значительный ущерб социальным и жилым объектам. 2007 году селевой поток в бассейне реки Могийндарья, у озёр Нофин, Соя вызвал значительные разрушения автодорог и жилых строений.

Айнинский район селеобразования. Территория этого района включает в себя долину, предгорья и горные территории реки Зерафшан от посёлка Айни до истоков реки ледника Зерафшанский. Высотная зона простирается от 1500 м н.у.м. до 3200 м н.у.м. [7]. Окружают долину Туркестанский и Зерафшанский хребты соответственно южной и северной экспозиции.

По данным многолетних наблюдений количество осадков (мм) здесь:

**Таблица 2.** Среднегодовое количество осадков (мм)

ГМС	III	IV	V	VI
Мадрушкент	25	33	36	26
Дехавз	32	45	51	39

Как видно из таблицы, осадки в районе немногочисленны. Но опять же в верховьях реки Зерафшан нередко выпадения осадков локального характера. Когда в течении суток выпадает до 28-30 мм осадков. 16.07.2009 года в течении суток по данным ГМС Дехавз выпало всего 2.6 мм осадков. Тогда как в 2 км ниже метеостанции в это время прошёл селевой поток грязекаменного типа, разрушивший дорогу и мост через реку. Кроме того,

породы селевых очагов представлены рыхлообломочными фракциями, доломитов, порфиритов, песчаников и сланцев, что существенно влияет на образование селевых потоков грязекаменного типа. Следует отметить, что в районе наблюдаются и гляциальные сели. В июле 1982 год прошёл гляциальный сел в бассейне реки Рог (левый берег реки Зерафшан). Ледник, расположенный в верховьях реки Рог, просел и выдавил воду из озера, рас-



положенного под толщей льда. Вынесенные селом ледниковые обломки, были разбросаны не только в районе ледника, но и отложились по руслу реки и большая часть отложилась на пойме реки Зерафшан в 12км ниже зоны образования селя. Погибло два человека, двадцать голов мелкого рогатого скота. Причём, на левом борту р.Матча селевая деятельность менее активная, чем на правом. Объёмы селей здесь составляют 10-30 тыс. м<sup>3</sup>.

Фан-Ягнобский район. Территория района расположена в бассейнах рек Ягноб, Фондаря, Сарытаг, Покруд. Высотная зона простирается от 1500 м.у.м у посёлка Айни до ледникового узла Токали-Барзанги, расположенного в бассейне реки Ягноб и в верховьях реки Сарытаг, Покруд где высоты достигают 3200-4100 м н.у.м. и более [7].

По данным многолетних наблюдений количество осадков (мм) здесь:

Таблица 3. Среднегодовое количество осадков (мм)

ГМС	III	IV	V	VI
Искандеркуль	44	54	42	21
Анзоб	68	86	34	18

Количество твёрдых осадков, выпавших в районе Анзобского перевала, способствует насыщенно влагой подстилающую поверхность селевых очагов. Водонасыщение массы грунта под воздействием выпадения жидких осадков локального характера, способствуют образованию как наносоводных селей, так и грязекаменных. Примерам тому могут служить Такфонский сел в июне 1999 года. Зона зарождения находилась на высоте 3100 м н.у.м. В бассейн реки Ягноб – Хширтабский и Зомбарский сели в июне 2002 года. В мае 2003 года селевой поток отметился в бассейне реки Сарытаг. Согласно [7-8], селям локального характера подвержены бассейны рек Покруд, Искандердаря.

Периоды прохождения селевых явлений – это III, VI, VII месяцы. В это время в горных районах нередко так называемые внутримассовые синоптические явления, вызывающие образование кучево-дождевых облаков, которые являются причиной образования осадков, локального характера. В этом случае прохождение селей сопровождается значительными разрушениями народно-хозяйственных объектов.

Основные геологические закономерности селе формирования в бассейне р.Зерафшан сводятся к следующему:

1. Определяющую роль в распространении селевых бассейнов и их объёмов принадлежит в первую очередь литологическим факторам. Состав коренных пород (в основном сланцы) способствует интенсивному их выветриванию и образованию рыхлообломочных отложений в очагах селе образования и в руслах малых притоков р.Зерафшан.

2. Климатические факторы (высотная зональность): в высокогорной зоне сели приурочены к области распространения ледников и моренных отложений. Здесь формируются сели смешанного типа – дожди и интенсивное снеготаяние. В среднегорной части – преобладают сели дождевого типа, зависящие от наличия рыхлообломочного материала и интенсивности выпадения осадков.

3. Предпосылки к селю образованию возрастают на территориях распространения гравитационных образований – оползней, камнепадных склонов и неустойчивых скоплений бортовой морены. В них возможны сели, вызванные подпруживанием локальных водотоков.

4. Очень существенную возможность формирования селей вызывают землетрясения, которые могут активизировать склоновые гравитационные процессы.

Оползни. Для высокогорных районов Согдийской области можно выделить три аспекта формирования оползней – историко-геологический, сейсмический и климатический. Масштабы, направленность, стадии и фазы развития тех или иных оползней функционально определяются соотношением этих трех ведущих природно-геологических факторов [7]. Историко-геологический аспект формирования оползней в Зерафшанской долине определяется длительным этапом подготовки оползня. После завершения полного оползневого цикла склоны приобретают устойчивость. Оползни на северном склоне Зерафшанского хребта отличаются большой шириной и протяжённостью, достигая нередко, в зависимости от геологического строения того или иного участка склона, нескольких километров. Оползни распространены от подошвы склонов до практически водораздельной части гор. Лёссы и лёссовидные породы в предгорных районах названной территории имеет широкое распространение, с которыми связаны многие оползни. В Зерафшанской долине (на северном склоне Зерафшанского хребта и на юго-восточных отрогах Туркестанского хребта) такие оползни возникают исключительно в отложениях склоновой формации и в интенсивно выветрелых породах, а также в палеозойских образованиях, которые наиболее чувствительны к изменению климатических условий.

В Зерафшанской долине в Согдийской области распространены, в основном, оползни в покровных отложениях. Крупные оползневые зоны сосредоточены в долине р. Зерафшан.

Как правило, больше всего оползней развивается на склонах крутизной от 50 до 300 и, преимущественно, в мягких, рыхлых породах, более сильно подверженных сезонному влиянию атмосферных осадков, в отличие от коренных скальных пород. В более мощных толщах рыхлых

пород (лёссовидные суглинки, супеси), расположенных, как правило, в нижних частях склонов, возникают более глубоко сидящие оползни, часто большого объёма и способные к вторичному проявлению. То есть, на крупном оползневом теле могут возникать новые неустойчивые участки, смещающиеся вниз по склону. Ближе к водораздельной части склона оползни, как правило, мелко сидящие и меньшего объёма.

### Обсуждение

Надо отметить ещё очень важную особенность оползневых процессов, происходящих в лёссовых породах. Это важно при разработке оползне защитных мероприятий и оценке риска. Практически все оползни в лёссовых породах начинаются с момента просадки массива пород на склоне, которая вызывается как процессами просадки, так и суффозией. Далее при движении вниз по склону этот массив превращается в грязевой поток, способный продвинуться на большое расстояние, например, повернуть вниз по долине и превратиться в селевой поток. Это необходимо учитывать при оценке риска от оползневых процессов.

Оползневые поверхности сопровождаются характерными морфологическими элементами рельефа – стенками или поверхностями срыва. Стенки срыва оползней с прилегающими склонами отрыва представляют собой округлые, подковообразные, воронкообразные, фронтальные и прочие уступы различной крутизны и высоты. Создают перегиб склона. Пространственно они связаны с телами оползней. Отмечается также их приуроченность к разрывным нарушениям и трещиноватым зонам, часто обводнённым.

Форма оползневых тел часто зависит от смещающихся пород. В скальных породах форма оползней имеет угловатые формы в плане (треугольная, трапециевидная, многоугольная и т.д.) стенки срыва высокие, резко очерченные. В по-

лускальных породах оползни бывают фронтального типа, часто с оползневыми грядами, буграми. В глинистых и связных породах форма оползней самая различная: циркообразная, глетчеровидная, грушевидная, эллипсоидальная и т.д. Оползневые явления приводят к образованию весьма характерных форм мезо- и микро-рельефа.

При составлении карты выделялись как отдельные оползни, которые можно различить при дешифрировании космоснимков, так и оползневые зоны. Оползневые зоны выделялись, исходя из следующих соображений. На определённом склоне имеются многочисленные мелкие оползни (менее  $0,15\text{ км}^2$ ), которые, в силу мелкого масштаба, выделить по отдельности не представляется возможным, или границы между отдельными оползнями нечёткие, часто один оползень переходит в другой, или на одном оползневом теле формируются другие более мелкие оползни. Коэффициент оползневой поражённости для выделяемой оползневой зоны должен быть более 60%. Следует иметь ввиду некоторую условность границ оползневых зон, поскольку довольно сложно спрогнозировать, в каких пределах этой территории могут проявиться оползневые процессы. Это связано с тем, что такие зоны выделяются, как правило, в зонах крупных активных разломов, где помимо гравитационных факторов большую роль играют и тектонические, в первую очередь сейсмические. Но, в целом, данные контуры отвечают поставленным задачам. В рыхлых четвертичных породах выделяются оползневые зоны, где оползни происходят по бортам многочисленных саёв, врезов и часто служат причиной возникновения селей.

Для высокогорной части бассейна р. Зерафшан впервые выделены так называемые тиллы сплывания (flow-till). Термин «тилл» в международной практике обозначает ледниковые отложения или соб-

ственно морену. Решением для их выделения послужило то, что эти формы рельефа являются потенциальными участками для оползневых деформаций. Очень часто на них формируются оползни-сплывы. Ранее такие формы рельефа выделялись как оползневые деформации на склонах, что является генетически неправильно. Тиллы сплывания формируются во время деградации ледника за счёт солифлюкционных процессов и температурного крипа. Это специфическая форма солифлюкционных отложений, развивающаяся в моренных отложениях (тиллах), причисляется к группе аллотиллов, которые относятся к ледниковому генетическому типу. Тиллы сплывания развиваются преимущественно на склонах в ледниковых отложениях бортовых морен. Для них характерно отсутствие стенок срыва. Часто между тиллами сплывания и коренным склоном отмечаются небольшие ложбины. Возникают при переувлажнении ледниковых отложений за счёт таяния погребённого льда. Это своеобразный тип солифлюкции. Очень часто сползание материала происходит на границе присклоновой ложбины бортовой морены. Тиллы сплывания часто образуют фестончатый рисунок на склоне. По форме и механизму образования сходны с каменными глетчерами, но имеют менее выраженную потоковую форму. В некоторых местах формируются совместно с присклоновыми каменными глетчерами, но часто являются более древними. Иногда в тиллах сплывания возникают оползни сползания с характерной стенкой срыва. Часто такие стенки срыва нечёткие и имеют прерывистый характер. Движение тиллов сплывания связано с переувлажнением моренных отложений (тиллов) за счёт содержащегося в них льда, а также сезонного промерзания-оттаивания моренных отложений. Границы тиллов сплывания на карте показаны пунктиром, т.к. границы их формирования часто определяют-

ся неуверенно. Такие участки отнесены к потенциально оползнеопасным склонам, т.к. при увлажнении ледниковых отложений в них могут сформироваться оползни.

В бассейне р.Зерафшан преобладают скальные и полускальные горные породы, часто высокой степени метаморфизма, нарушенные системами трещин различного, преимущественно тектонического происхождения. Типичной особенностью района является наличие покровных образований, которые на многих участках перекрывают коренные породы и имеют весьма низкую устойчивость. Эти и другие факторы определяют высокую активность оползневого процесса в долине р. Зерафшан. Борта долины р. Зерафшан покрыты мощным чехлом ледниковых отложений, что, собственно, и обеспечивает активное проявление оползневых процессов. Поражённость склонов оползнями здесь нередко превышает 30-40%, а иногда достигает 80-90%.

Основными факторами, обуславливающими возникновение, развитие, интенсивность и активность оползневых процессов являются: преобладание в верхних частях горных склонов слабо прочных горных пород; высокая расчленённость, особенности климатических условий; условия инженерно-хозяйственного воздействия человека на природную среду.



**Рисунок 2.** Оползень 1964 г. у село Айни

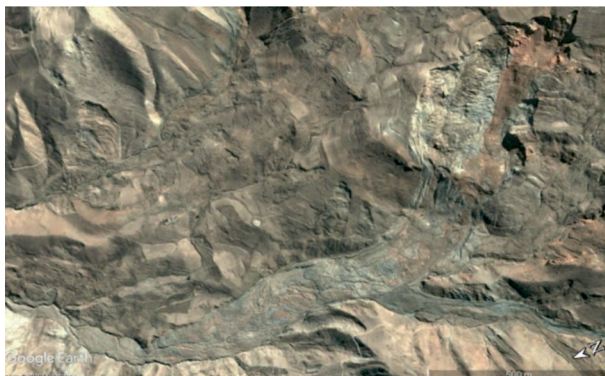
В горных и предгорных районах Зерафшанской долины, оползни встречаются во всех ландшафтно-климатических зонах и литолого-стратиграфических формациях горных пород, слагающих склоны разных генераций и возрастов [7]. Однако, наиболее сильно оползневой процесс проявляется в глинистых и молассовых отложениях, а также в элювиально-делювиальных и ледниковых образованиях. Оползни распространены от подошвы склонов до практически водораздельной части гор. В Зерафшанской долине (на северном склоне Зерафшанского хребта и на юго-восточных отрогах Туркестанского хребта) оползни возникают исключительно в отложениях склоновой формации и в интенсивно выветрелых породах, а также в палеозойских образованиях (терригенно-сланцевых толщах), которые наиболее чувствительны к изменению климатических условий.

Кроме оползней на карте выделены опасные камнепадные склоны, которые представляют опасность для автодорог и населённых пунктов. Часто они образуют подвижные осыпные шлейфы и конусы, которые постоянно засыпают автодороги, ирригационные сооружения, особенно во время прохождения дождей различной интенсивности.

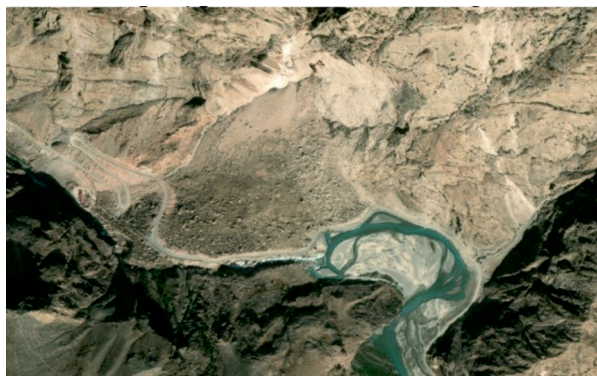


**Рисунок 3.** Классический оползень на северном склоне Зерафшанского хребта, бассейн р.Сурхат. (Снимок Google Earth)





**Рисунок 4.** Оползень-поток в бассейне р. Могиёндарья (Снимок Google Earth)



**Рисунок 5.** Ягнобский обвал в долине р.Ягноб (Google Earth)



**Рисунок 6.** Потенциально оползневой участок (флоу-тилл) на левом борту р.Зерафшан



**Рисунок 7.** Оползень у с.Пиньон, р.Пасрударья (Google Earth)



**Рисунок 7.** Оползень у с. Пиньён, р. Пасрударья



**Рисунок 8.** Оползень у с.Зерихисор, бассейн р.Киштут (Google Earth)

### Выводы

Таким образом, территория Таджикистана характеризуется высокой степенью пораженности оползневыми процессами, которые развиты во всех ландшафтно-климатических зонах. Наиболее активно оползни формируются в глинистых, молассовых, элювиально-делювиальных и ледниковых отложениях, а также в ин-

тенсивно выветрелых и палеозойских породах. Процессы распространены от подошв склонов до водораздельных пространств.

Помимо оползней, значительную опасность представляют камнепадные склоны, формирующие подвижные осыпные шлейфы и конусы. Эти процессы создают прямую угрозу автомобильным дорогам,



населенным пунктам и ирригационным сооружениям, особенно в периоды интенсивных осадков [12-13].

Представленные рисунки наглядно иллюстрируют разнообразие оползневых явлений: от классических оползневых смещений и оползней-потоков до крупных обвалов и потенциально опасных участков. Это подтверждает широкое распространение и высокую активность гравитационных процессов, требующих постоянного мониторинга и проведения профилактических мероприятий.

### Литература

1. Васьков И.М. Периодические селевые выбросы в долине р. Фастаг и их связь с современной тектоникой // Вестник Владикавказского научного центра, 2016. - Т.6. - №1. - С.28-32.
2. Васьков И.М. Катастрофические обвалы: происхождение и прогноз. - Владикавказ, 2016. - 370 с.
3. Докукин М.Д. К вопросу о типизации моренного рельефа (на примере Северного Кавказа) // Труды ВГИ, 1988 - Вып.73. - С.58-67.
4. Виноградов Ю.Б. Селевые паводки и методы их прогноза. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1967. - 195 с.
5. Кодиров А.С. Влияние климатических изменений на состояние водных объектов // Водные ресурсы, энергетика и экология, 2023. - Т.3. - №2. - С.9-17.
6. Курбонов Н.Б., Боев Б.М., Восидов Ф.К., и др. Изучение состояния и негативные последствия ледниковых озер в высокогорных районах Таджикистана // Тезисы Международной конференции и Школы молодых ученых, посвященные памяти Н.К. Кононовой «Климатические риски и космическая погода». - Иркутск, 14-17.06.2021. - С.41. – EDN: HAKHDT
7. Курбонов Н.Б., Фрумин Г.Т. Формирование состава водных ресурсов бассейна р. Зерафшан. Влияние изменения климата на условия формирования и химического состава водных ресурсов БРЗ. Монография. - Брюссель: LAP Lambert Academic Publishing, 2021. - 145 с.
8. Курбонов Н.Б. Мониторинг чрезвычайных ситуаций и их зависимость от метеорологических условий в бассейне реки Зерафшан // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук, 2014. - №1-1 (126). - С.273-279. – EDN: VBXDUV
9. Маджидов О.Ш., Муртазаев У.И. Руслловые процессы у истоков горных рек // Материалы IX международной научно-практической конференции «Наука – основа инновационного развития». - Душанбе, 2024. - С.303-307.
10. Фазылов А.Р., Гулаёзов М.Ш., Сафаров М.С., Наврузшоев Х.Д., Zhang Zh., Wang W., Liu Y., Bayandalai Мониторинг лавинной опасности в бассейне реки Майхура (автотрасса Душанбе-Худжанд, Таджикистан) // Известия НАН Таджикистана. Отделение физ.-мат., хим., геол. и тех. наук, 2023. - №2 (191). -С.108-117.
11. Таланов Е.А. Селевой риск: теоретические основы и практическая значимость // В сборнике: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды Международной конференции. 2008. -С. 74-77.
12. Курбонов Н.Б. Анализ чрезвычайных ситуаций и их влияния на социально-экономическое положение Республики Таджикистан // Вестник Таджикского национального университета. Серия социально-экономических и общественных наук. - Душанбе, 2019. - №7. - С.10-15. – EDN: FNVSSSE
13. Курбонов Н.Б. Анализ воздействия стихийных бедствий на социально-экономические отрасли и экологическое равновесие // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. - Душанбе, 2019. - №4. - С.130-139.

## АРЗЁБӢ ВА ТАҲЛИЛИ ОФАТҲОИ ТАБИӢ, БА МОНАНДИ СЕЛ ВА ЯРЧ ДАР ҲАВЗАИ ДАРӢИ ЗАРАФШОН

Расулзода Х.Х.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Муассисаи давлатии илмӣ «Маркази омӯзиши тиряхҳо»-и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

\*Муаллифи масъул: E-mail: hamidjon1966@mail.ru

**Шарҳи мухтасар.** Дар мақола хусусиятҳои зӯҳури равандҳои селӣ ва лағжиши замин дар ҳавзаи дарёи Зарафшон баррасӣ шудаанд, ки яке аз паҳншударин ва хатарноктарин офатҳои табиӣ дар минтақа ба шумор мераванд. Таъкид мегардад, ки ташиаккули ин падидаҳо бо омезиши омилҳои иқлимӣ, геологӣ ва зилзилавӣ, инчунин бо таъсири шадиди антропогенӣ вобаста мебошад. Мисолҳои рӯйдодҳои фалокатбори солҳои гузашта оварда мешаванд, ки боиси зиёни назарраси моддӣ ва талафоти ҷонӣ гардидаанд. Зикр мегардад, ки талафоти солони аз сел ва лағжиши замин ба миллионҳо сомонӣ мерасад, ки дар вайроншавии

инфрасохтор ва таназзули заминҳо ифода меёбад. Ба мушкилоти мониторинг ва пешгӯии офатҳои табиӣ, инчунин ба дурнамои истифодаи технологияҳои геоинформатсионӣ ва системаҳои огоҳкунии барвақт таваҷҷуҳи махсус дода мешавад. Дар анҷом зарурати тадбирҳои мукамал оид ба кам кардани хавф ва ҳадди ақал расонидани оқибатҳои равандҳои экзогенӣ хатарнок дар ҳавзаи дарёи Зарафшон асоснок мегардад.

**Калидвожаҳо:** Зарафшон, ҳавзаи дарё, сел, лагжиши замин, офатҳои табиӣ, омилҳои иқлимӣ, геология, zilzilahезӣ, таъсири антропогенӣ, мониторинг, пешгӯӣ, коҳиши хавф.

## ASSESSMENT AND ANALYSIS OF NATURAL DISASTERS SUCH AS DEBRIS FLOWS AND LANDSLIDES IN THE ZARAFSHAN RIVER BASIN

Rasulzoda H.H.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>State Scientific Institution "Center for Research of Glaciers" of the National Academy of Sciences of Tajikistan

\*Corresponding author: E-mail: hamidjon1966@mail.ru

**Abstract.** The article examines the characteristics of debris flow and landslide processes in the Zarafshan River basin, which are among the most widespread and hazardous natural disasters in the region. It is noted that the formation of these phenomena is associated with a combination of climatic, geological, and seismic factors, as well as with intensive anthropogenic impacts. Examples of catastrophic events from past years that caused significant material damage and human casualties are provided. It is emphasized that annual losses from debris flows and landslides reach millions of somoni, which result in the destruction of infrastructure and land degradation. Special attention is given to the problems of monitoring and forecasting natural disasters, as well as to the prospects for applying geoinformation technologies and early warning systems. In conclusion, the necessity of comprehensive measures to reduce risks and minimize the consequences of hazardous exogenous processes in the Zarafshan River basin is substantiated.

**Keywords:** Zarafshan, river basin, debris flows, landslides, natural disasters, climatic factors, geology, seismicity, anthropogenic impact, monitoring, forecasting, risk reduction.

**Маълумот дар бораи муаллиф:** Расулзода Ҳомидҷон Ҳасан – н.и.т., ходими пешбари илмии Муассисаи давлатии илмии «Маркази омӯзиши пирахҳо»-и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: 985496666; E-mail: hamidjon1966@mail.ru;

**Сведение об авторе:** Расулзода Ҳомидҷон Ҳасан – к.т.н., ведущий научный сотрудник Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников» Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: 985496666; E-mail: hamidjon1966@mail.ru;

**Information about the author:** Rasulzoda Khomidjon Hasan – Candidate of Technical Sciences, leading researcher at the State Scientific Institution "Center for Research of Glaciers" of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tel.: 985496666; E-mail: hamidjon1966@mail.ru;

УДК: 551.324

## ОЦЕНКА ЛЕДНИКОВЫХ ЛАВИН И СЕЛЕВОГО ПОТОКА БАСЕЙНА РЕКИ ШУРАКИ КАПАЛИ (ЛЕВЫЙ ПРИТОК РЕКИ СУРХОБ, ТАДЖИКИСТАН) И РАЗРАБОТКА МЕР ПО СНИЖЕНИЮ РИСКА

Имомназаров Ф.С.<sup>1,\*</sup>, Зарипов Р.Г.<sup>1</sup>, Абдулназаров Х.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников» Национальной академии наук Таджикистана"

\*Автор-корреспондент: E-mail: firdavs.0389@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается комплексная оценка природных угроз в малых водосборных бассейнах. Водосборный бассейн реки Шураки Капали территориально приурочен к центральной части северного склона хребта Петра Первого, который является основной орографической единицей, левого борта долины р. Сурхоб. В пределах исследуемого водосборного бассейна одними из основных факторов возникновения ледниковых лавин и гляциальных селевых потоков, являются подвижки (пульсации) ледников № 504, 505 и Люлихарви. В результате выполненных полевых исследований летом 2018 года были уста-

новлены динамические воздействия природной среды на физическую сущность пульсирующих ледников. С последующими трансформациями в ледяные лавины и селевые потоки. По результатам экспедиционных работ составлены специализированные карты существующих ледников в пределе обследованной территории, и карта природных угроз водосборного бассейна реки Шураки -Капали. Комплексная оценка природных угроз позволила разработать рекомендации и выполнить ряд мероприятий по оценке состояния пульсирующих ледников, оценка риска и уязвимости, ниже расположенных населённых пунктов и инфраструктур в случае природных геологических катаклизмов, таких как сильные землетрясения провоцирующих сход ледниковых лавин, образованию селей, паводков и оползней.

**Ключевые слова:** водосборные бассейны, ледниковые лавины, селевые потоки, оползни, комплексная оценка, специальные карты, рекомендации, мероприятия по уменьшению угрозы и риска, подготовка населения

## Введение

Выполненные мероприятия основываются на результатах работ «Интегрированного проекта по улучшению здоровья и среды обитания в Раштской долине Таджикистана», которые финансировались Швейцарским агентством по развитию и сотрудничеству (SDC) и Филиалом Агентства Ага Хан по. Хабитат (АКАН) в Республике Таджикистан. Основной целью указанного проекта является «Комплексная оценка и планирование управления водосборными бассейнами в Раштской долине Таджикистана».

Для реализации проекта была выбрана методика комплексного изучения территории водосборных бассейнов малых рек с использованием космоснимков последних лет, а также с применением ГИС-технологий для поиска и картирования активных очагов и исследования факторов и предпосылок природных гидрологических и экзогенных геологических процессов. Проведено дешифрирование космоснимков последних лет с определением контуров участков активного развития опасных природных процессов. Выполнено аэровизуальное обследование территории для выявления очагов и зон развития экзогенных геологических процессов, которые затем были нанесены на карты. Проведены пешие маршрутные исследования с целью детального описания, измерения, привязки и фотографирования зон и участков проявления возможных угроз. Детально изучены предпосылки и факторы формирования селей. Разработан ряд мероприятий по снижению природных

рисков для территории водосборного бассейна и расположенных в его пределах населённых пунктов.

## Методика работ

Применялись, как методы пеших маршрутных исследований, так и методы дистанционного зондирования (с использованием спутниковых и аэрофото-снимков). Для реализации проекта была выбрана методика комплексного изучения территории водосборных бассейнов малых рек. Проведено дешифрирование космоснимков последних лет с выявлением контуров участков активного развития опасных природных процессов. Выполнено аэровизуальное обследование территории для выявления очагов и зон развития экзогенных геологических процессов, которые затем были нанесены на карты. Проведены пешие маршрутные исследования с целью детального описания, измерения, привязки и фотографирования зон и участков проявления процессов.

Детально изучены предпосылки и факторы формирования селей. Разработан ряд мероприятий по снижению природных рисков для территории водосборного бассейна и расположенных в его пределах населённых пунктов.

Определялись объем и морфометрические параметры возможного перекрытия обвальной опасных участков, определены и оконтурены площади участков возможного перекрытия селевого русла в ходе продвижения, а также затопления в случае слияния селевого потока с рекой Шураки Капали



### Территория исследования

Изученная территория относится к северному склону западной части хребта Петра Первого. Длина этого хребта составляет около 200 км, средняя высота – 4300 м на западе и 6000 м на востоке. Западная часть хребта Петра Первого протягивается на 114 км с востока на запад от плато Тупчек до слияния рек Оби-

хингоу и Сурхоб (рис. 1). Современное оледенение здесь незначительное. Всего имеется 137 ледников общей площадью 46,8 км<sup>2</sup>. Высочайшая вершина – пик Сагунаки высотой 4793 м. Он находится в 3,5 км южнее озера Кызылкуль, к востоку от правого борта долины реки Шураки Капали.



Рисунок 1. Обзорная топокарта М1:100000 бассейна р. Шураки Капали.

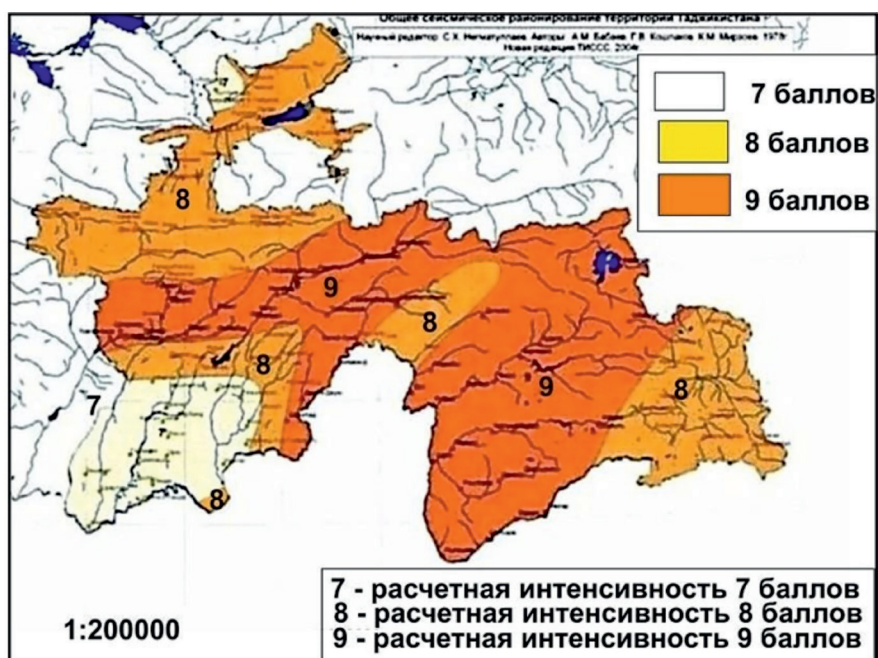


Рисунок 2. Карта сейсморайонирования РТ.

На северных склонах хребта Петра Первого в последние десятилетия участились сходы селевых потоков разного типа и объёмов. Большинство из них связано с выпадением аномального количества атмосферных осадков в виде ливневых дождей и града, а также с таянием ледников. В бассейнах рек Сурхоб и Обихингоу, где горные хребты сложены осадочными и рыхлыми породами, для возникновения селевых потоков достаточно выпадения в течение первых суток 35-40 мм осадков

(при годовом количестве 445-465 мм). В западной части хребта Петра Первого, на его северных склонах, насчитывается пять однотипных малых селеносных бассейнов. В верховьях этих рек расположены каровые, висячие и долинные ледники площадью от 0.1 до 2.2 км<sup>2</sup> (таблица). Ряд ледников имеют пульсирующий характер [Каталог ледников..., 1971]. Одним из преобладающих видов опасных природных процессов в Раштской долины являются сели.

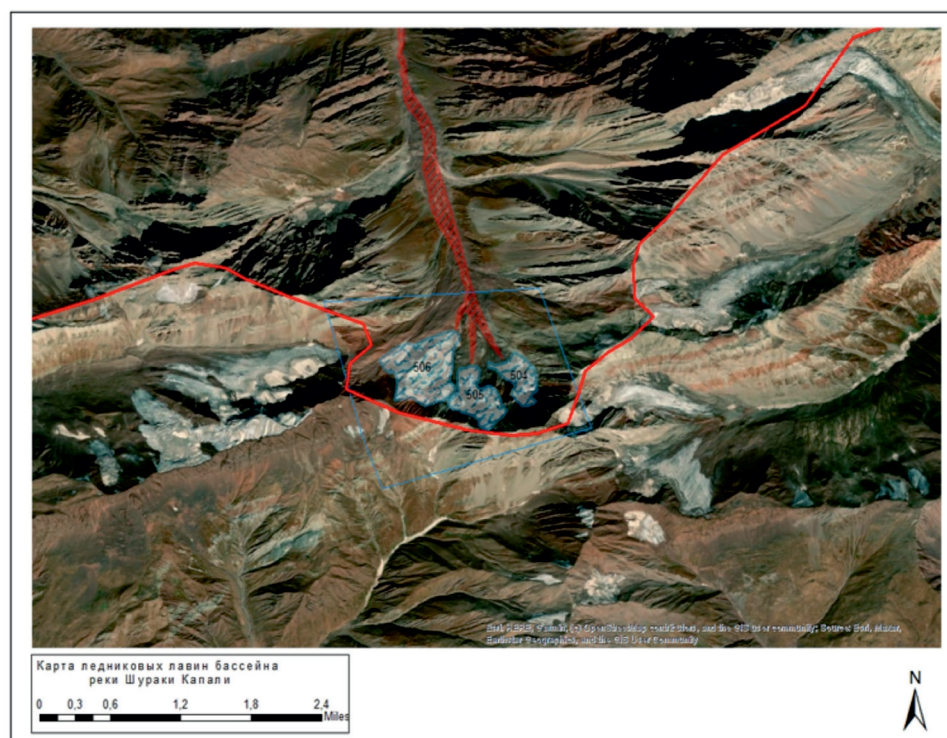


Рисунок 3. Общий вид хребта Петра Первого.

Бассейн реки Шураки Капали является левым притоком реки Сурхоб. Шураки Капали – это постоянно действующий водоток, берущий начало из 10 малых ледников (каровые и висячие ледники №№ 503-511 и ледник Люлихарви) на северном склоне хребта Петра Первого. Длина основного русла реки составляет 18,5 км, площадь водосборного бассейна 110 км<sup>2</sup>, средний уклон русла 10-15°, в верховьях 20-25°. Абсолютная высота варьирует в пределах от 1500 м у слияния с рекой Сурхоб до 4307 м (пик Джагрык) в водораздельной части хребта Петра Первого.

Водосборный бассейн р. Шураки Капали в верховьях имеет цирк образную форму с висячими, каровыми и долинными ледниками (рис. 2). Долина реки в средней части характеризуется U-образной формой поперечного профиля с крутыми склонами и плоским дном. В нижней части поперечный профиль долины реки приобретает ассиметричную форму с террасами и древними селевыми конусами выноса. Основные сведения о ледниках, расположенных в водосборных бассейнах рек северного склона, западной части хребта Петра Первого [Каталог ледников 1971]



№ по каталогу	Названия Ледников	Названия рек	Морфологический Тип	Общая экспозиция	Длина в км	Площадь в км <sup>2</sup>
490-500	Айконуш. Сафедорак	Обишурак	Висячие, каровые, Долинные	С, СВ, СЗ	0.5-3.3	4.4
503-511	Люлихарви	Шураки Капали (Шурак Восточный)	Висячие, каровые, Долинные	С, СВ, СЗ	0.2-2.5	3.7
512-515	Дидаль	Дара	Висячие, каровые, Долинные	С, СВ	0.7-4.8	2.1
521-525		Дараи Мазор	Висячие, каровые, Присклоновые	С, СВ, СЗ	0.5-0.8	1.3
526-534		Шурак Западный	Висячие, каровые, Присклоновые	С, СВ, СЗ	0.6-1.8	4.4



**Рисунок 4.** Цирк в верховьях реки Шураки Капали, в днище которого видна отколовшаяся часть ледника № 505. Фото Б.А. Сатторова, 31.08.2016.

В данном водосборном бассейне единственным левым притоком основной реки является река Дараи Назарак, которая берет начало из ледника Люлихарви. Длина русла реки Дараи Назарак составляет 14 км, средний уклон - 8-10°. Есть еще короткие боковые саяи Каирма, Кызылкуль, Санговак и Дегдонак протяженностью до 5 км.

Селевые потоки по реке Шураки Капали (Шурак Восточный)

Согласно историческим данным, сходы селевых потоков, принесшие ущерб населению и социальным объектам, наблюдались в бассейне реки Шураки Капали в 1970, 1985, 1988, 2016 и 2017 годах [Зарипов, Рягузова, 1998; Официальный..., 2016]. В последние годы из-за резкого изменения климата (жаркое лето, общее потепление) и следующего за ним увеличения скоростей таяния ледников уровень воды в реке несколько раз зна-

чительно поднимался. Шураки Капали выходила из берегов, нанося серьезный ущерб населению, проживающему вдоль берега. Так, катастрофический селевой поток был зафиксирован летом 2016 года. В результате этого события был нанесён ущерб на сумму около 4 000 000 сомони [Каталог событий..., 2018].

Ледник № 504. Это безымянный долинный ледник, расположенный на северном склоне хребта Петра Первого в пределах водосборного бассейна реки Шураки Капали. Длина ледника № 504 около 1,4 км, площадь - 0,3 км<sup>2</sup>, нижняя (передняя) его часть расположена на абсолютной отметке 3470 м, а самая верхняя - на высоте 4000 м. Весной 1988 года откололась фронтальная часть этого ледника объемом около четырех миллионов кубометров. Дальность выноса ледяной лавины

составила 5,5 км. Путь транзита ледяной массы происходил по слабонаклонной поверхности склона крутизной до 15°, покрытого снегом. По пути транзита ледяная лавина срезала языковую часть ледника № 507. Долина реки Шураки Капали на протяжении 2,5 км была завалена десятиметровым слоем льда. Ширина завала достигала 150 м. Вся эта ледяная масса аккумуляровалась ниже снеговой границы, что привело к ее интенсивному таянию. В результате расход воды в реке увеличился в полтора-два раза, что привело к разрушению автомобильного моста.

Повторная активизация ледника произошла в июле 2017 года (между 9 и 11 числом) [Докукин и др., 2019]. Дальность выноса снежно-ледовой массы составила 9,0 км (рис. 3). К счастью, схода селевого потока при этом не наблюдалось.



**Рисунок 5.** Снежно-ледовая масса в долине реки Шураки Капали после схода ледника № 504, сентябрь 2017 г. Фото Ф.С. Имомназарова.

Ледник № 505. Более активным за прошедшие годы XXI века был карово-висячий ледник № 505 (длина - около 1,0 км, площадь - 0,3 км<sup>2</sup>): в 2016 году наблюдалось 2 случая его схода - между 13 и 25 июля (дальность выброса масс льда - 5,6

км) и 28 августа, примерно в середине дня (рис. 2, 4) [Докукин и др., 2019]. В результате данного события образовалась снежно-грязевая плотина, перегородившая сток реки Шураки Капали (рис. 5). Вследствие этого в верховьях реки сформирова-



лось подпрудное озеро. Быстрый подъем уровня воды в нем привел к его прорыву, сопровождавшемуся сходом селевого по-

тока по реке Шураки Капали. Расходы селя превышали 50 м<sup>3</sup>.



**Рисунок 6.** Снежно-ледовая масса в долине р. Шураки Капали, август 2016 г. Фото Р.Г. Зарипова.



**Рисунок 7.** Снежно-грязевая плотина на р. Шураки Капали, образовавшаяся вследствие схода ледника № 505. Фото Б.А. Сатторова, 31.08.2016.

В результате прохождения селевого потока по реке Шураки Капали был разрушен мост между селениями Фатхобод и Шуроба, а также повреждены 25 жилых домов, нанесен ущерб фермерским хозяй-

ствам и коммуникационным системам селений Фатхобод, Капали джамоата Каль-аи Лаби Об Таджикабадского района (рис. 8)



**Рисунок 8.** Грязевая (а) и грязекаменная (б) масса в жилой зоне селений капали и Фатхобод. Фото Б.А. Сатторова, 31.08.2016.

### **Результаты исследования водосборного бассейна реки Шураки Капали**

В ходе полевых работ было выявлено и закартировано более 24 очагов зарождения селевых потоков, в том числе из них на территории кишлаков - 18 очагов зарождения (рис. 7). По вещественному составу данные

селевые потоки подразделяются на водокаменные, грязекаменные и грязевые. Частота схода варьирует от ежегодной до одного раза в 10-20 лет. Наиболее опасными являются селевые потоки гляциально-го типа, проходящие по главным руслам рек Шураки Капали и Дараи Назарак, а также грязекаменные сели по боковым притокам (саи Каирма, Кызылкуль, Санговак и Дегдонак). Выполненные полевые исследования позволили составить специальные крупномасштабные карты. Кроме того, были разработаны рекомендации и выполнен ряд мероприятий по уменьшению риска селевых потоков.

### **Рекомендуемые мероприятия по снижению риска и профилактике ЧС**

1. Аэровизуальные обследования территории, включая верховья водосборного бассейна с обязательной инвентаризацией существующих ледников.
2. Расчистка и спрямление русла реки Шураки Капали в зоне возможного затопления на территории кишлака Капали.
3. Расчистка и рекультивация земельных участков от селевых наносов 2016 года.
4. Восстановление и реконструкция головных сооружений каналов.
5. Строительство селезащитной дамбы протяженностью 1000 м по бортам реки.
6. Организация сезонных наблюдений за зонами зарождения селевого потока.
7. Подготовка населения к природным угрозам и чрезвычайным ситуациям (ЧС).

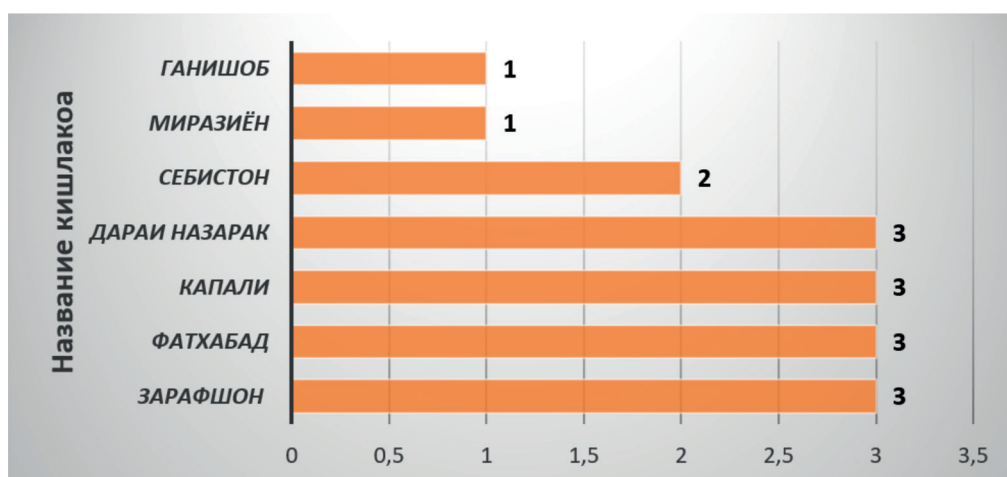


Рисунок 9. Количество селевых очагов в кишлаках бассейна реки Шураки Капали.

### Реализованные мероприятия по снижению риска и уязвимости

После исследования территории, согласно выданным рекомендациям, были выполнены следующие мероприятия.

1. Переселены на безопасные места 10 хозяйств, получившие серьезный ущерб от воздействия селевого потока 2016 года.

2. Выделены земельные участки 25 хозяйствам, расположенным в зоне потенциальной угрозы от селевого потока по реке Шураки Капали.

3. По левому борту реки для защиты жилой зоны построена селезащитная дамба протяжённостью 300 м.

4. С целью своевременного оповещения и эвакуации населения проживающего в зоне риска, установлена дистанционная система раннего оповещения IT-70.

5. В центре кишлака установлен склад неприкосновенного запаса в случае стихийного бедствия и чрезвычайной ситуации.

6. Подготовлены 30 волонтеров-спасателей при джамоата Калъаи Лаби.Об и числа местных жителей.

7. Проведены тренинги с населением кишлаков, расположенных в

### Выводы

Данный водосборный бассейн был выбран для исследования на основе критериев, соответствующих основному компоненту проекта «Комплексная оценка и

планирование управления водосборными бассейнами в Раштской долине Таджикистана». В данном водосборном бассейне расположены 11 населённых пунктов и райцентр Таджикабад. Стихийные бедствия природного характера (селевые потоки, лавины, оползни, эрозия почв) являются ежегодной проблемой для населения и местной инфраструктуры.

Выполненные мероприятия по снижению риска от природных опасностей в данном водосборном бассейне являются первым шагом по информированию населения и государственных структур. Разработанный совместно с населением план безопасного развития территории является основным достижением проекта. Всего же на северном склоне хребта Петра Первого насчитывается более 10 потенциально опасных малых водосборных бассейнов. В настоящее время изучены два из них (Обишурак и Шураки Капали), расположенные на территории Таджикабадского района. Рекомендуется проведение исследований аналогичного типа в остальных водосборных бассейнах.

### Литература

1. Абдуллоева М.Н., Зарипов Р.Г., Имомназаров Ф.С., Тагойбеков А.Ш., Шафиев Г.В. Отчёт о комплексной оценке водосборного бассейна Шураки Капали в Раштской долине Таджикистана. Душанбе, 2018. С. 5-10, 34-35.
2. М.Д., Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Савернюк Е.А., Черноморец С.С. Признаки подготовки



- катастрофических сходов ледников (анализ разновременной космической информации). Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии / Под ред.
3. А.В. Николаева, В.Б. Заалишвили. Владикавказ: Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, 2019. С. 522–528.
  4. Зарипов Р.Г., Рязузова А.С. Каталог службы наблюдения и оповещения (СНОП). Душанбе: Изд-во Главного управления геологии Таджикистана, 1998. С.
  5. Каталог ледников СССР. Том 14. Средняя Азия. Выпуск 3. Аму-Дарья. С. Часть 6. Бас-сейн р. Сурхоб между устьями рек Обихингоу и Муксу / Под ред.
  6. Г.М. Варнаковой, О.В. Рототаева. Л. Гидрометеопиздат, 1971. 91
  7. Каталог событий и чрезвычайных ситуаций Таджикистана. Душанбе, 2018.
  8. Официальный сайт фонда «Диалог Цивилизаций». Таджикистан начал исследование «Петра 1»
  9. Топографическая карта М: 1: 100000. Составлено по карте масштабе 1:50000, съёмки 1977-1979 годах.
  10. Сейсмическая карта, 1984 год.

## АРЗЁБИИ ТАРМАҲОИ ПИРЯХӢ ВА МАҶРОИ СЕЛ ДАР ҲАВЗАИ ДАРӢИ ШӢРАКИ КАПАЛӢ (ШОҲОБИ ЧАПИ ДАРӢИ СУРҲОБ, ТОҶИКИСТОН) ВА ТАҲИЯИ ТАДБИРҲОИ КАМ КАРДАНИ ҲАВФ

Имомназаров Ф.С.<sup>1,\*</sup>, Зарипов Р.Г.<sup>1</sup>, Абдулназаров Х.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Муассисаи давлатии илмӣ «Маркази омӯзиши пирахҳо»-и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон  
\*Муаллифи масъул: E-mail: firdavs.0389@mail.ru

**Шарҳи мухтасар.** Ин мақола арзёбии ҳамаҷонибаи хатарҳои табииро дар зерҳавзаҳои хурди обӣ баррасӣ мекунад. Ҳавзаи оби дарёи Шураки Капалӣ дар қисми марказии нишебии шимолии қаторкӯҳи Пётри I ҷойгир буда, хусусияти асосии орографию тарофи чапи водии Сурхоб мебошад. Дар ҳудуди ҳавзаи таҳқиқшуда яке аз омилҳои асосии ба вуҷуд омадани тармаҳои пирахӣ ва селҳо ин ҳаракати (пулсатсияи) пирахҳои № 504, 505 ва Люлихарви мебошад. Дар натиҷаи тадқиқоти саҳроӣ, ки дар тобистони соли 2018 гузаронида шуда буд таъсири динамикии муҳити табиӣ ба табиати физикии пирахҳои пурқувват бо табдили минбаъда ба тармаҳои пирахӣ ва сел муайян карда шуданд. Дар асоси натиҷаҳои қорҳои саҳроӣ харитаҳои махсуси пирахҳои мавҷуда дар минтақаи тадқиқшуда ва харитаи хатарҳои табиӣ мавзеи обхезии Шураки Капалӣ тартиб дода шуданд. Тадқиқоти арзёбии ҳамаҷонибаи хатарҳои табиӣ имкон дод, ки тавсияҳо оид ба таҳияи кардани як қатор тадбирҳо оид ба арзёбии ҳолати обшавӣ ва ҳаракати пирахҳо, арзёбии хатар ва осебапазирии маҳалҳои аҳолинишини поёноби зерҳавза ва инфрасохтор ҳангоми офатҳои табиӣ геологӣ, аз қабili заминларзаҳои сахт, ки пас аз он тармаҳои пирахӣ, сел ва ярч амалӣ карда шаванд.

**Калидвожаҳо:** Ҳавзаҳои обӣ, тармаҳои пирахӣ, селҳо, ярчҳо, арзёбии ҳамаҷониба, харитаҳои махсус, тавсияҳо, чораҳои қоҳиш додани хатар ва омодагии ҷомеа дар вақти хатар.

## ASSESSMENT OF GLACIAL AVALANCHES AND DEBRIS FLOWS IN THE SHURAKI-KAPALI RIVER BASIN (LEFT TRIBUTARY OF THE SURKHOB RIVER, TAJIKISTAN) AND DEVELOPMENT OF RISK REDUCTION MEASURES

Imomnazarov F.S.<sup>1,\*</sup>, Zaripov R.G.<sup>1</sup>, Abdunazarov Kh.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Scientific Institution «Center for Research of Glaciers» National Academy of Sciences of Tajikistan  
\*Corresponding author: E-mail: firdavs.0389@mail.ru

**Abstract.** The article presents an integrated assessment of natural hazards in small river catchments. Shuraki Kapali River catchment is geographically confined to the central part of the northern slope of Peter the First (Petra Pervogo) Range, which is the basic orographic feature of the left side of Surkhob valley in its western part. The major reasons for debris flows threatening the settlements and infrastructure in the territory of assessed catchment are the surges of the glaciers No. 504, No. 505 and Lyulikharvi, overlaps of small side valleys with snow avalanches and activation of landslides with subsequent development of synergetic effects. As a result of field survey conducted in summer 2018, the special maps and maps of natural hazards of Shuraki Kapali River

*catchment were developed. Integrated assessment of natural hazards allowed to develop recommendations and implement a number of measures to reduce the risk of debris flows and landslides. The assessment of debris flow hazard in the catchment will make it possible to consider existing and possible natural threats at the stage of preparing and justifying engineering protection projects.*

**Key words:** *catchments, glaciers, debris flows, landslides, integrated assessment, special maps, recommendations, measures to reduce hazards and risks, preparing the community for natural disasters*

**Маълумот дар бораи муаллифон:** Имомназаров Фирдавс Султоназарович, ходими илмӣ Муассисаи давлатии илмӣ “Маркази омузиши пирахҳои Академияи Миллии Тоҷикистон” тел: 934110089, E-mail: firdavs.0389@mail.ru, Зарипов Рачабали Гургович, собиқ корманди бахши геологи (сардори шӯбаи Энергетика) (АКАН) тел: 935322674, E-mail: rajabali.zaripov@gmail.com, Абдулназаров Худоназар Мамадназарович, лаборанти калони Муассисаи давлатии илмӣ «Маркази тадқиқоти пирахҳои Академияи илмҳои Тоҷикистон», тел.: 111401904, E-mail: mirkhudonazar83@gmail.com

**Сведения об авторах:** Имомназаров Фирдавс Султоназарович, научный сотрудник Государственное научное учреждение «Центр исследований ледников Национальной академии наук Таджикистана» тел: 934110089, E-mail: firdavs.0389@mail.ru, Зарипов Раджабали Гургович, бывший сотрудник (старший геолог) филиал агентства Ага Хана по окружающей среде (АКАН) тел: 935322674, E-mail: rajabali.zaripov@gmail.com, Абдулназаров Худоназар Мамадназарович, старший лаборант Государственное научное учреждение «Центр исследований ледников Национальной академии наук Таджикистана» тел: 111401904, E-mail: mirkhudonazar83@gmail.com

**Information about the authors:** Imomnazarov Firdavs Sultonazarovich, scientific research, State Scientific Institution «Center for Research of Glaciers» of the National Academy of Sciences of Tajikistan”, tel.: 934110089, E-mail: firdavs.0389@mail.ru, Zaripov Radjabali Gurgovich, former employee (senior geologist), branch of the Aga Khan Agency for the Environment (AKAN), tel: 935322674, E-mail: rajabali.zaripov@gmail.com; Abdunazarov Khudonazar Mamadnazarovich, senior laboratory assistant, State Scientific Institution «Center for Research of Glaciers» of the National Academy of Sciences of Tajikistan”, tel: 111401904, E-mail: mirkhudonazar83@gmail.com

УДК 551.324.2

## **ПРЕВЕНТИВНЫЕ МЕРЫ СНИЖЕНИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ РИСКОВ И УГРОЗ (РОШТКАЛИНСКИЙ РАЙОН. ТАДЖИКИСТАН)**

**Шафиев Г.В.<sup>1,\*</sup>, Амиров У.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников» Национальной академии наук Таджикистана

\*Автор-корреспондент: E-mail: ganjali.shafiyev@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований описания отдельных оползней - опасных населенных пунктов территории Рошткалинского района, характерного широко распространением оползней, обвалов, камнепадов, осыпей, учет которых при освоении земель позволять снизить последствия воздействия опасных природных рисков на экономическое и социальное развитие территории. Предложены рекомендации по сокращению рисков, обусловленных развитием техногенных оползней в результате воздействия антропогенных факторов, в том числе массовые вырубки и травянисто-кустарниковых оазисов, отрицательно влияющее на хрупкую экосистему местности. Подтверждено, что в условиях горного Памира, в том числе в Рошткалинском районе угроза природных аномалий может быть более дифференцированным, создающие более сложные проблемы, чем в других о регионах. Представленные результаты исследований по предупреждению угроз и снижению их риска на территории Памира реализованные в течение более 25 лет, основаны на опыте геологического изучения состояния оползней Горно-Бадахшанской автономной Области (ГБАО) реализованные Филиалом Агентства Ага Хан по Хабитат в Таджикистане, в рамках проектов ДИПЭКО, COSE 1-2 и др.

**Ключевые слова:** оползень, трещины, камнепады, обнаженность склонов земляной канал, угроза, стабилизация, гидроизоляция, превентивные меры, рекомендация, снижения риска, социально-экономическая безопасность.

## Введение

В горных регионах Памира, в условиях недостатка земель для сельскохозяйственного оборота и строительства жилых поселений, вынуждает население вести хозяйственную деятельность на потенциально опасных склонах, которые являются источником природно-геологических угроз - оползни, камнепады, склоновые сели и др. Таким образом, дефицит земельных ресурсов вынуждает население

вести строительство на эрозионных и аккумулятивных террасах вблизи склонов, без учета склоново-гравитационных процессах и их активности. В результате деятельности человека участились случаи возникновения техногенных оползней, которые образуют опасность для населенных пунктов, социальных объектов и инфраструктуры [1; 2].

На рисунке 1, представлен ситуационный обзор оползней в долине р. Шохдара.



**Рисунок 1.** Обзор мест проявления оползней в долине р. Шохдара. Пятиугольные звёздочки – зона проявления оползней с захватом коренных пород. Четырёхугольные звёздочки - зона оползней техногенного характера. (снимок с сайта GoogleEarth 2022 г.).



**Рисунок 2.** Сейсмогенные зоны Таджикистана.



Физико - географическая условия Памира характерны высокогорьем, пораженностью склонов многочисленными хаотичными разломами и разрывами, большие площади оледенения, полное залесение склонов, малочисленность кустарниково –растительных оазисов и высокая сейсмическая активность в пределах 5,5-8,5 баллов по шкале Рихтера (Рисунок 2). На Памире (Рошткалинский район) соответствии с условиями рельефа местности по характеру образования оползней выделяются скальные и нескальные оползни техногенного характера. Скальные оползни образуются в последствие сильных землетрясений, влияние тектонических зон, процессов физико-химических выветривание и результат человеческого воздействия на окружающую среду.

#### **Методика выполненных работ**

В соответствие данных инженерно - геологических исследований (Главное управление геологии при Правительстве Республики Таджикистан) установлено, что оползни на территории Памира имеют сложное строение и механизм подвижек оползневых масс. При этом, разнообразное активизации оползневых процессов наблюдаются на фоне древних склонов ледниковых долин, расположенных в зоне влияния тектонических дезактивных узлов, характерная зона влияния Рушано Пшарский разлома и южного окончания Аличур Шугнанского поднятия.

Долина р. Шохдары характерна 3 типами оползней с захватом коренной толщи. Следует отметить, что оползни скольжения отмечены в районе кишлака Сумджев с последующим трансформации в каменную лавину, а скальные техногенные оползни выявлены в районе кишлаков джамоата Тусиен и Зануж. К специфическим особенностям этих оползней отнесен техногенный фактор - обводнение склона при поливе из ирригационного канала в земляном русле и взрывные работы при

строительстве дорог и водопроводящих каналов в верхней части склонов над жилыми зонами.

К сложностям строительства на оползнеопасных склонах следует отнести следующий факт: Морфологическое строение древних реализованных тел в зависимости от поверхности рельефа местности разнообразное. В зависимости от механизма смещение (скольжение, течение, поток) формируются разнообразные форма рельефа местности. Форма реализованных оползневых тел также довольно разнообразное. Население предпочитает вести строительство и осуществлять освоение земель на поверхности потенциально опасных склонов как на безопасных объектах с целью развития социально-агроэкономической инфраструктуры.

Следовательно, при проектировании строительства объектов на оползнеопасных склонах и исключения возникновения техногенных угроз в результате деятельности человека, следует учитывать возможную активизацию склоново-гравитационных и техногенных процессов в виде оползней, камнепадов и селевых явлений.

Ниже рассмотрены виды оползней на территории Памира.

**1. Первичные оползни в скальных грунтах.** Это природное явление, которое в условиях Памира чаще всего образуют различного типа перекрытия, в узких боковых долинах с последующим образованием временных завальных озёр, с последующим прорывом и их трансформации в селевые паводки. В зону поражения которых попадают ниже расположенные населенные пункты, инфраструктура и социальные объекты. Такие оползни по категории опасности являются опасными, зоны поражения от их прорыва иногда распространяются более чем на десятки километров, сопровождаемые иногда человеческими жертвами.



При обработке космоснимков и пеших полевых наблюдений выявлены около 40 перекрытий долины р. Пяндж по границе ГБАО, 18 перекрытий в долинах Мургаб, Кудара, Танымас и Бартанг на Западном Памире и около 20 полных и частичных перекрытий р. Шохдара. Со временем неустойчивое состояние древних оползней на склонах могут образовать потенциальную угрозу перекрытия боковых долин и узких ущельях.

## **2. Оползни техногенного характера.**

Освоение новых высокогорных земель и пастбищ со стороны общин, в некоторых случаях сопровождается массовой вырубкой деревьев и травянисто-кустарниковых оазисов, отрицательно влияющее на хрупкую экосистему местности. Любое вмешательство на древних оползневых склонах рано или поздно спровоцирует активизацию оползневых процессов на склоне или в отдельных его участках. Строительство дорог, каналов, жилых домов, проведение взрывных работ, а также нерегулируемый полив и орошение обширных территорий представляют особую опасность для оползневых массивов. К такому же негативному воздействию приводят утечки из систем водоснабжения и сброс сточных вод. Неконтролируемый рост техногенной нагрузки провоцирует активизацию оползней, что создает угрозу для населенных пунктов, отдельных хозяйств, земель и других объектов.

В течение последних трех десятилетий антропогенное воздействие на окружающую среду в ГБАО привело к более чем 100 проявлениям геологических процессов. Среди них особо опасной стала активизация оползней в населенных пунктах Тусиен, Занудж, Бародж, Сумджев, Бодом, Чадуд, Дуршер, Хек, Хорог и Пиш.

На наш взгляд, с учетом вышеизложенного, следует отметить, что, освоение территорий на Памире подверженных

оползням, целесообразнее сосредоточиться не на поиске способов безопасного строительства на таких склонах, а на разработке стратегии и выборе мер, обеспечивающих безопасное проживание на уже освоенных оползнеопасных территориях.

При этом следует иметь в виду, что одним обязательных мероприятий является оценка оползневой угрозы на различных территориях и определением (выделение) участков, где строительство запрещается или не рекомендуется, с обязательным применением комплекса защитных сооружений и предупреждающих мероприятий, соблюдение «охранных зон».

Относительно оценки состояния оползнеопасных склонов при выборе эффективной защиты, следует отметить, что для надежной охраны от оползней в высокогорном Памире необходимо глубокое понимание принципов формирования и текущего положения этих явлений [4; 7]. Этого можно достичь посредством всестороннего инженерно-геологического анализа на всех участках, подверженных оползням, а также потенциально опасных горных территориях [6].

При этом следует: Исследовать обстоятельства и причины возникновения оползней; Классифицировать их по видам и определить способы перемещения грунта; Выявить основные факторы и признаки проявления оползней, установить их взаимосвязь с другими геологическими явлениями; Оценить геологическое строение и состояние устойчивости прилегающего склона; Установить причины текущей активности и возможных будущих изменений; Определить и описать зоны риска; Разработать предложения по снижению риска уязвимости от оползней.

Финальным шагом оценки оползней и оползнеопасных территорий является соблюдение схемы:





**Рисунок 3.** Обзор джамоата Тусиен.

Абсолютная высота в центре села составляет 2561 м над уровнем моря. Основной водной артерией села является река Тусиёндара. Село Лангар связывает грунтовая автодорога с другими селами джамоат Тусиен. Расстояние от кишлака Лангар до районного центра Рошткала 24 км, до города Хорога 23 км. Среднегодовая температура воздуха колеблется летом от 20 до 250, зимой от – 6 до – 100 (по данным Хорогской метеостанции).

В геологическом отношении территория представляет собой крупную сейсмическую внутригорную впадину, сформировавшуюся сложными, древними оползнями и разновозрастными моренами. Общая ситуация осложняется тем, что район расположен в одном из наиболее сейсмически активного узла в зоне влияния Пшартского глубинного разлома и Южного окончания Шугнанского сводового поднятия, для которого характерны землетрясения с  $M = 7-7.5$  [3]



**Рисунок 4-5.** Общий вид оползне опасного участка кишлака Лангар (джамоата Тусиён). Оползне опасный участок уступа цокольной террасы. Автор фотографии Мирзонаботов





**Рисунок 6.** Оползни по долине Тусиендара. Желтым цветом указано места расположение активных оползней. (Снимок с сайта Google Earth 2022 г.).

Основные формы рельефа и выражены тремя ярусами сейсмотектонических ступеней по левому борту р.Тусиендара. Хозяйственные постройки, жилые зоны, сады, орошаемые земли и оросительная сеть располагаются главным образом на средней и нижней ступенях ярусов рельефа и в днище самой впадины (рис. 2).

#### **Результаты выполненных исследований**

Активизация просадочно-оползневых явлений в пределах жилых зон и орошаемых площадей началась с 1995 года и к 1998 году были частично разрушены 78 хозяйств и начальная школа. Была выполнена детальная геологическая оценка всей территории джамоата (12 кишлаков) [8; 10].

Установлено 6 оползнеопасных участков. Возник вопрос о масштабном переселении всех поврежденных хозяйств из оползнеопасных зон и строительстве новой школы на безопасном месте [8; 10].

После полевой оценки были установлены главные факторы активизации: увеличение техногенной нагрузки на неустойчивые грунты; подрезка склона при строительстве автодороги по древнему оползневому массиву с применением взрывных работ; проведение буровзрыв-

ных работ в районе головного сооружения водопроводящего канала; нарушение норм и порядка поливов на приусадебных участках; повышенная фильтрация из водопроводящих каналов и густой сети арыков

Чтобы исключить масштабное переселение хозяйств, организацией ФОКУС (США) в 1998-1999 годах был реализован проект «Стабилизация склонов в джамоате Тусиён». В рамках этого проекта внимание было сосредоточено на комплексе мероприятий, которые позволят исключить техногенное обводнение склона и закрепить неустойчивый оползнеопасный склон. Этот комплекс включал следующие примитивные митигационные шаги: Гидроизоляцию всех водоподающих систем с покрытием плёнкой и закрепление бетоном бортов и днищ каналов; Организацию водоподачи через оползневые тела по трубам; Реконструкция поливной сети и головного сооружения; Установление и контроль за нормами и порядком поливов; Залесение всех участков обводнения и выклинивания вод на оползневом теле и вдоль каналов.

Для большей эффективности действия выполненных мероприятий выполнен



цикл обучающих семинаров и тренингов в каждом кишлаке.

Мониторинг с помощью нивелирования подтвердил, что в первые 2 года после

реализации проекта, подвижки и выброс грязевых масс в языковой части оползания прекратились



**Рисунок 7.** Активизация оползнеопасного склона в результате подрезки при строительстве автодороги в кишлаке Тусиён. (Снимок с сайта Google Earth 2022 г.).

2. Село Занудж расположен на правом борту долины реки Шахдара в 20 км к юго-востоку от райцентра Рошткала и в 60 км от города Хорога. Южная граница кишлака проходит по пойме реки Шахдары, восточная ограничивается руслом ручья Занудждара, правый приток реки Шахдара. Жилые строения села размещены на поверхности высокой террасы реки Шахдары и частично на возвышенных склонах, которые покрыты морено – осыпным чехлом

Абсолютные высотные отметки жилой зоны варьируют от 2979 до 3100 метров (данные GPS), относительные высоты жилой зоны над руслом реки Шахдары варьируют от + 12 до + 310 метров.

Рис.8. Обзор кишлака Занудж. Автор фотографии Пирмамадов У. Р.

Оползнеопасный склон сложного строения занимает правый борт ручья Занудждара. Над оползневой зоной расположены орошаемые земли кишлака. В

средней части склона была проложена водоподводящий канал земляной конструкции. При проходке канала в скальном массиве были проведены взрывные работы, что привело к нарушению целостности устойчивости массива с последующим образование многочисленных трещин бортового отпора и заколов.

Активизация склоново-гравитационных процессов виде оползня, мелких обвалов и камнепадов произошла в средней части склона на высоте порядка 130 м относительно современного русла ручья Занудждара. Боковые фланги оползня хорошо выражены, с юга четко прослеживается его зона скольжения.

Главными факторами оползневой активизации следует считать перенасыщение водой верхней части оползневого тела из-за несоблюдения нормы полива и подрезка склона при строительстве канала [8; 9].



**Рисунок 8.** Активизация оползнеопасного склона в результате подрезки при строительстве канала в кишлаке Занудж. (Снимок с сайта Google Earth 2022 г.).

В настоящее время оползень находится в стадии активизации, его передний край повредил и уничтожил водоотводящий канал. Объем вынесенной породы относительно невелик – от 50 до 70 тысяч кубометров. Тем не менее, если вся эта масса сойдет одновременно, она может

полностью заблокировать долину ручья Занудждара с последующим трансформации в селевой поток грязью каменного типа, который нанесет серьезный ущерб расположенным ниже поселениям.



**Рисунок 9-10.** Разрушенная часть канала по правому борту сая Занудждара в результате активизации оползня. Автор фотографии Гоибназаров А.

Для стабилизации оползневого тела реализован проект, который включал: разгрузку неустойчивых блоков во фронтальной части; гидроизоляцию канала и замену полотна трассы канала на оползнеопасных участках водоподводящими трубами.

#### **Выводы**

На основе полученных результатов организация «ФОКУС» реализовала аналогичные меры по укреплению склона:

проведены гидроизоляция каналов на склонах, частичное выравнивание уклонов, зафиксированы неустойчивые каменные глыбы, организована волонтерская группа для наблюдения и надзора за оползнеопасным склоном.

Подтверждено, что предпринятые примитивные шаги в большинстве случаев обеспечивают лишь временную устойчивость склонов, поскольку сложная структура оползней и различные факто-



ры, провоцирующие их активность, диктуют потребность в более масштабных и комплексных защитных и предупредительных работах.

Важно учитывать, при этом иметь в виду что, предпринятые меры зачастую лишь ненадолго сдерживают развитие оползней, поскольку их сложная структура и многообразие факторов, провоцирующих активность, диктуют потребность в более всеобъемлющих и комплексных решениях, подобно тому, как реализовано, к примеру, в районе Тусиён.

В завершение стоит заметить, что обнаружение двух существенно отличающихся типов оползневых образований в Памире, о чём говорилось ранее, обуславливает необходимость использования определённых подходов к обеспечению безопасности поселений от этих явлений в данном регионе к которым следует отнести: Доскональное описание особенностей перекрытия в речных долинах; Создание карт риска и уязвимости для территории, подверженных отдалённой и локальной угрозы со стороны селевых потоков и оползней; Идентификация и анализ потенциально опасных и проявляющих активность оползневых зон, представляющих угрозу перекрытия локальных долин с последующим трансформации в селевые потоки; Определение зон, где любая постройка категорически недопустима; Укрепление грунтов на переувлажнённых участках склонов посред-

ством посадки деревьев и кустарников; Формирование террас на склонах; Герметизация каналов и контроль отвода воды из оросительных систем; Строгий контроль объемов полива на всех освоенных землях

### Литература

1. Виниченко С.М. Сейсмогенные оползни и обвалы зоны сочленения Гиссаро-Алая и Южно-Таджикской депрессии. Душанбе -1989г
2. Виниченко, С.М., Лим В.В. – Вопросы рационального использования сейсмоактивных горных территорий. Душанбе 1989
3. Гусев И.А., Бархатов Б.П., 1970. Объяснительная записка к геологической карте СССР. Масштаб 1:200 000. Серия Памирская. J-42-XXIV. Москва.
4. Золотарев Г.С., Григорян С.С., Мягков С.М. (ред.), 1987. Формирование оползней, селей и лавин. Инженерная защита территорий. Изд-во МГУ, Москва.
5. Ниязов Р.А., Минченко В.Д., Ташматов Х.М., 1991. Мониторинг экзогенных геологических процессов. Фан, Ташкент.
6. Труды республиканского семинара «Опыт изучения оползней и обвалов на территории Таджикистана и методы инженерной защиты», 2002. Эчод, Душанбе.
7. Федоренко В.С., 1988. Горные оползни и обвалы, их прогноз. Изд-во МГУ, Москва.
8. Человек и Стихия. Отчет по проекту «Стабилизация склона в джамоате Тусиён», 1998 г.
9. Шафиев Г.В., 2021. Обзор и краткая характеристика обвально-оползневых явлений на территории г. Хорога (Юго-Западный Памир, Таджикистан). ГеоРиск, Том XV, № 2, с. 70-81, <https://doi.org/10.25296/1997-8669-2021-15-2-70-81>.
10. Шварц А. В. Комплексная защита территории джамоата Тусиён Рошткалинского района ГБАО., Душанбе, 2002г.

## ТАДБИРҲОИ ПЕШГИРӢ БАРОИ КОҲИШ ДОДАНИ ХАВФ ВА ТАҲДИДИ ЯРЧ ДАР МИСОЛИ НОҲИЯИ РОШТҚАЛАИ ВМКБ

Шафиев Г.В.<sup>1\*</sup>, Амиров У.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Муассисаи давлатии илмӣ «Маркази омӯзиши тиряхҳо»-и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

\*Муаллифи масъул: E-mail: [ganjali.shafiyev@mail.ru](mailto:ganjali.shafiyev@mail.ru)

**Шарҳи мухтасар.** Аҳамияти ин кор дар он аст, ки қаблан азхудкунии заминҳо дар нишебиҳои ярч осебпазир таъсири хатарҳои зиёди табииро ба рушди иқтисодӣ ва иҷтимоии минтақа ба назар гирифта намешудан. Ин тадқиқот дар бораи лағжиши замин дар мавзеҳои алоҳидаи аҳолинишин дар ноҳияи Роштқалъа тавсиф карда мешавад. Тавсияҳо барои коҳиши додани хатарҳои ярчҳои сунъӣ аз омилҳои антропогенӣ пешниҳод карда шуданд. Вақте ки ҷамоатҳо заминҳои баландкуҳ ва чарогоҳҳои навро азхуд

ва истифода мебаранд, дар баъзе мавридҳо нобудшавии оммавии воҳаҳои алаф ва буттазорҳо ба амал меояд, ки ба экосистемаи ноустувори минтақа таъсири манфӣ мерасонад. Дар қӯҳистони Помир таҳдиди офатҳои табиӣ метавонад нисбат ба дигар минтақаҳо мураккабтар бошад ва мушкилоти беитареро ба бор орад. Дар дохили ноҳияи Роштка ин гуна ҳодисаҳои табиӣ дар намуди ярч, сангрезӣ, резиии сангҳо ва гилхокҳо мебошанд, ки маъмуланд. Дар ин мақола иттилооти инъикоси таҷрибаи омӯзиши геологии ҳолати ярч дар ВМКБ ва муносибати стратегӣ ба ин мушкилот амалӣ ҳал карда шуда аз ҷониби Агентии Оғохон оид ба макони зист дар Тоҷикистон анҷом дода шудааст, ки зиёда аз 25 сол боз дар минтақаи Помир ҷиҳати пешгирии хатарҳо ва қоҳиши хатарҳои табиива геолги тадқиқот мебарад. Дар ин давра як қатор лоиҳаҳои ба эътидол овардани нишебҳои ярч дар ноҳияи Роштқалъа, инчунин як қатор лоиҳаҳои DIPECO, COSE 1-2, аз ҷумла як қатор лоиҳаҳои хурд оид ба ҳифзи минтақа ва пешгирии хатарҳои эҳтимолӣ амалӣ гардиданд.

**Калидвожаҳо:** Лағзӣи, тарқишҳо, қўйбори замини, таҳдид, мўътадилсозӣ, обногузарӣ, тавсияҳо, қоҳиши додани хатар, резиии санг, таъсири нишебӣ.

## **PREVENTIVE MEASURES TO REDUCE LANDSLIDE RISKS AND THREATS: CASE STUDY IN THE ROSHTKALA DISTRICT OF GBAO**

**Shafiev G.V.<sup>1,\*</sup>, Amirov U.A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>State Scientific Institution "Center for Research of Glaciers" of the National Academy of Sciences of Tajikistan

\*Corresponding author: E-mail: ganjali.shafiyev@mail.ru

**Abstract.** Significance of the present work is that earlier in the development of land on landslide hazardous slopes, the consequences of the impact of multiple natural risks on economic and social development of the territory were not taken into account. The presented study provides a description of individual landslide-hazardous settlements of the area of Roshtkalinsky district. Recommendations on reduction of risks caused by the development of man-made landslides as a result of anthropogenic factors are given. In the Pamir Mountains, the threat of natural anomalies can be more differentiated and create more complex problems than in other regions. Within Roshtkin district, such natural phenomena include and are widespread landslides, rockslides, rockfalls, and screes. This paper presents information reflecting the experience of geological study of landslides in GBAO and strategic approach to this problem conducted by the Aga Khan Habitat Agency Branch in Tajikistan, which has been conducting research on hazard prevention and risk reduction in the Pamirs for more than 25 years. During this period a number of projects on stabilisation of landslide slopes in Roshtkala district, as well as a cycle of DIPECO projects, COSE 1-2, including a number of small projects on protection of the territory and prevention of possible threats have been implemented. During the development and use of new high-mountainous lands and pastures by communities, in some cases there are mass cutting of grass and shrub oases, negatively affecting the fragile ecosystem of the area.

**Keywords.** Landslide, cracks, earth channel, threat, stabilisation, waterproofing, recommendation, risk reduction, rockfall, slope exposure.

**Маълумот дар бораи муаллифон:** Шафиев Ганҷалӣ Валиевич – ходими илмӣ Муассисаи давлатии илмӣ «Маркази омӯзиши пирахҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон», E-mail: ganjali.shafiyev@mail.ru; Амиров Умедҷон Авалимирович – ходими илмӣ Муассисаи давлатии илмӣ «Маркази омӯзиши пирахҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон», E-mail: umed1211.cryos@gmail.com.

**Сведения об авторах:** Шафиев Ганҷали Валиевич – научный сотрудник Государственного научного учреждения «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана», E-mail: ganjali.shafiyev@mail.ru; Амиров Умедҷон Авалимирович – Научный сотрудник Государственного научного учреждения «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана», E-mail: umed1211.cryos@gmail.com.

**Information about the authors:** Shafiyev Ganjali Valievich – researcher of the State Scientific Institution "Center for Research of Glaciers" National Academy of Sciences of Tajikistan, E-mail: ganjali.shafiyev@mail.ru; Amirov Umedjon Avalmirovich – researcher of the State Scientific Institution "Center for Research of Glaciers" National Academy of Sciences of Tajikistan, E-mail: umed1211.cryos@gmail.com.



ТДУ 504.4.054

## ҲОЛАТИ МУОСИРИ НИЗОМИ МОНИТОРИНГИ МУҲИТИ ЗИСТ ВОБАСТА БА ҶАНБАҲОИ АРЗЁБИИ ИФЛОСШАВИИ ОБЪЕКТҲОИ ОБ

Фазлиддини Н.<sup>1</sup>, Бобоев Т.Д.<sup>1</sup>, Муродов П.Х.<sup>2</sup>, Амирзода О.Ҳ.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Институтуи масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

<sup>2</sup>Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ

\*Муаллифи масъул: E-mail: orif2000@mail.ru

**Шарҳи мухтасар.** Дар мақолаи мазкур низоми ягонаи мониторинги давлатии экологӣ бо мақсади таъмини ҳифзи муҳити зист дар Ҷумҳурии Тоҷикистон, ки дар таркиби он мониторинги давлатии объектҳои об амалӣ мегардад, таҳлил карда шудааст. Дар асоси таҳлили низоми ягонаи мониторинги давлатии экологӣ як қатор камбудҳои ва масъалаҳои ҷойдошта, бахусус зимни гузаронидани мониторинги давлатии объектҳои об муайян гардида, барои ҳалли онҳо тавсияҳои мушаххас пешниҳод карда шудааст.

Пешниҳод карда шудааст, ки барои ҳалли масъалаҳои муйаянсозии сарчашмаҳои ифлосшавии объектҳои об, арзёбии дараҷаи таъсири онҳо ба сифати захираҳои об ва роҳандозии назорат аз рӯи онҳо, гузаронидани корҳои махсуси иловагӣ дар ҳама фаслҳо ва дар давраҳои ивазшавии речани гидрологии дарёҳо дар доираи гузаронидани мониторинги давлатии объектҳои об таъкил ва баргузор карда шавад.

**Калидвожаҳо.** Мониторинги давлатии экологӣ, сифати об, объектҳои об, оби нӯшокӣ, обҳои рӯизаминӣ ва зеризаминӣ, ифлосшавии об, мониторинги таҳнишинҳои қарғӣ.

### Мукаддима

Дар асоси ҳуҷҷатҳои қабулнамудаи Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон “Стратегияи миллии оби Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2040” ва “Барномаи давлатии таъмини оби нӯшокӣ ва рафъи обҳои партов барои солҳои 2025-2029” масъалаҳои ҳифз ва барқарорсозии объектҳои об ҳамчун самтҳои афзалиятноки фаъолияти низоми хоҷагии оби Ҷумҳурии Тоҷикистон муайян гардидаанд [1-2]. Пешниҳод мегардад, ки дар самти истифода ва ҳифзи захираҳои об, сари вақт муайян намудан ва пешгӯии рушди равандҳои манфие, ки ба миқдор ва сифати об дар объектҳои об ва ҳолати онҳо таъсир мерасонанд, арзёбии самарабахшии чорабиниҳо оид ба ҳифзи объектҳои об, ба мониторинги давлатии объектҳои об – низоми мушоҳидаҳо, арзёбӣ ва пешгӯии тағйироти ҳолати объектҳои об аз ҷониби сохторҳои марбута нақши хеле муҳим чуда карда мешавад.

Яке аз вазифаҳои афзалиятноки Стратегияи миллии об таҳияи низоми мониторинги давлатии объектҳои об, аз ҷумла инкишоф ва таҷдиди шабакаи мушоҳидаи давлатӣ, мебошад. Баланс бардоштани

сатҳи технологияи шабакаи мушоҳидавии давлатӣ, ки ҷорӣ намудани системаҳои худкории чандпараметрии ченкунӣ ва иттилоотӣ, воситаҳои коммуникатсионии муносири бесим, технологияҳои нави иттилоотии коркард ва таҳлили маълумот аз дидбонгоҳҳои шабакаи мушоҳидавӣ, инчунин усулҳои мониторинги фосилавӣ, ҷалб намудани таҷҳизоти нави баландтехнологӣ ва маҳсулоти барномавино дар назар дорад. Барои таҳияи низоми муносири мониторинги давлатии объектҳои об дастрасии маълумоти мониторинги захираҳои об дар сатҳи байнисоҳавӣ, ҳалли шумораи зиёди масъалаҳои амалӣ ва бунёдии илмӣ, эҷоди технологияҳои нав ва тағйир додани технологияҳои мавҷудбуда, такмил додани заминаи методологӣ ва танзими ҳуқуқӣ, таъсис додани системаҳои самарабахши мониторинги объектҳои об, таҳшинҳо, ҳолати қарғ ва сохилҳои объектҳои об, инчунин ҳолати минтақаҳои муҳофизати об зарур аст.

Ҳамзамон, оварда мешавад, ки Барномаи давлатии таъмини оби нӯшокӣ ва рафъи обҳои партов барои солҳои 2025-2029 ҷиҳати таъмини мавҷудият ва дастрасии ҳадамоти бехатарии таъмини об

ва рафъи обҳои партов дар сатҳи хонавода ва ташкилотҳо мусоидат хоҳад намуд. Ҳамзамон, дар сурати муваффақ шудан ба дастрасии ҳамаҷонибаи аҳоли ба хизматрасониҳои таъмини оби нӯшокӣ ва рафъи обҳои партов ба бештар шудани сифати зиндагии аҳоли ва коҳиши бемориҳои тавассути об интиқол шаванда мусоидат менамояд. Барнома ҳамаи масоилро аз сохтмони системаҳои нави таъминот бо обу низомҳои обу корез то бозбиниву такмили заминаи қонунгузориро фаро хоҳад гирифт. Дар асоси Барномаи мазкур, системаи ягонаи милли бунёд мегардад, ки дар он маълумоти муҳиму рӯзмарра оид ба тамоми зерсохтори марбут ба об ҷамъоварӣ карда мешаванд.

Дар асоси моддаи 32 Кодекси оби Ҷумҳурии Тоҷикистон чиҳати мушоҳида, арзёбӣ ва пешгӯии тағйирпазирии ҳолати захираҳои об мониторинги давлатии объектҳои об гузаронида мешавад [3]. Маълумоте, ки дар натиҷаи мониторинги объектҳои об ба даст оварда мешаванд, ба низоми миллии иттилоотии об ва низоми ягонаи давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон оид ба пешгирӣ ва рафъи ҳолатҳои фавқулода дохил карда мешаванд.

Мониторинги давлатии муҳити зист дар асоси моддаи 65 Қонуни Ҷумҳурии Тоҷикистон “Дар бораи ҳифзи муҳити зист” амалӣ гардонидани шуда, тибқи моддаи 4 Қонуни Ҷумҳурии Тоҷикистон “Дар бораи мониторинги экологӣ” объектҳои мониторинги экологӣ чунин муқаррар карда шудаанд: - манбаъҳои таъсири антропогенӣ ба муҳити зист; - объектҳо ва минтақаҳои махсуси муҳити зист (ҳавои атмосфера, об, хок, қабри замин, объектҳои хоҷагии ҷангал ва дигар объектҳои табиӣ, ҳудудҳои табиӣ махсус муҳофизатшаванда); - гурӯҳҳои аҳоли, ки таъсири манфии омилҳои муҳити зистро ҳис менамоянд [4-5].

Ҳаминро бояд зикр намоем, ки дар ҳама ҳуҷҷатҳои дар боло зикргардида оварда шудааст, ки дар низоми хоҷагии

оби Ҷумҳурии Тоҷикистон ба масъалаи таъмини оби босифати нӯшокӣ афзалияти бештар дода мешавад.

Ҳамзамон, аз рӯи натиҷаҳои таҳқиқотҳои муаллифони [6-7] муқаррар карда шудааст, ки ҳаҷми зиёди моддаҳои ифлоскунанда асосан аз рушди соҳаи кишоварзӣ ба манбаҳои обӣ ворид гардида, дар раванди ташаккули сифати об таъсири бештар мерасонанд. Дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон низ бештар аз 90 % захираҳои об дар соҳаи кишоварзӣ истифода карда мешавад.

Аз ҷониби муаллифони [8 - 10] бошад оид ба номукаммалии ҳолати мавҷудани низоми мониторинги объектҳои об таъкид гардида, барои таъмини ҳалли вазифаҳои стратегии бештарнамоии вазъи экологии объектҳои об мушкилиҳои иловагиро эҷод намуда, ҳадафи гузаронидани таҳқиқотҳои моро муайян менамояд.

Вобаста ба ин, мониторинги ҳолати манбаҳои таъмини оби нӯшокӣ ва пешгирии объектҳои об аз таъсири моддаҳои ифлоскунанда, муҳим арзёбӣ карда мешаванд.

Таҳлили ҳолати муносири мониторинги муҳити зист тақозо менамояд, ки чиҳати ба роҳ мондани усулҳои муносири раванди мониторинги давлатии муҳити зист тадбирҳои аз лиҳози илмӣ андешидан муҳим арзёбӣ карда мешаванд. Ҳамзамон, барои пурзӯр намудани таҳқиқотҳои илмӣ дар раванди мониторинги давлатии объектҳои об зарур аст, ки усулҳои муносири инноватсиониро васеъ истифода намоем.

**Ҳадафи мақолаи мазкур** таҳлили низоми муносири мониторинги давлатии объектҳои об, ки дар ҳудуди Ҷумҳурии Тоҷикистон роҳандозӣ мегардад, инчунин муайян намудани раванди ифлосшавии объектҳои об дар доираи гузаронидани мониторинги давлатӣ ва коркарди пешниҳоди тавсияҳо чиҳати мукамалгардонии он ба ҳисоб меравад.

#### **Маводҳо ва усулҳои таҳқиқот**

Ба сифати маводҳои таҳқиқот аз рӯи

мавзӯи интихобшуда маълумотҳои оморӣ Кумитаи ҳифзи муҳити зист назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон, Агентии обуҳавошиносӣ, Агентии оморӣ назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон, натиҷаи таҳқиқотҳои олимони ва инчунин маводҳо аз сомонҳои интернетӣ истифода карда шудаанд.

Дар мақолаи мазкур усулҳои омӯзиши бонизомӣ маҷмӯӣ, таҳлили қиёсӣ, ҷамъоварӣ арзёбӣ ва таҳлили маводҳо низ ба таври васеъ истифода карда шудааст.

Натиҷаҳо ва муҳокимаи онҳо. Дар Ҷумҳурии Тоҷикистон ҷиҳати амалигардонии ҳифзи муҳити зист низомӣ ягонаи мониторинги давлатии экологӣ таъсис дода шудааст, ки аз аз зерсистемаҳои зерин иборат мебошад: - мониторинги дав-

латии обуҳавосанҷӣ; - мониторинги давлатии вазъ ва ифлосшавии муҳити зист; - мониторинги давлатии ҳавои атмосфера; - мониторинги давлатии объектҳои олами наботот; - мониторинги давлатии объектҳои олами ҳайвонот; - мониторинги давлатии фонди шикори ҳайвонот ва муҳити маскунӣ онҳо; - мониторинги давлатии ҳудудҳои табиӣ махсус муҳофизатшаванда; - мониторинги давлатии пирияхҳо.

Ҳамзамон, мониторинги ҳолати захираҳои об дар сохтори умумии мониторинги давлатии ҳифзи муҳити зист мақоми махсусро ишғол намуда, дар асоси сохтори дар расми 1 овардашуда, амалӣ гардонида мешавад.



Расми 1. Мониторинги давлатии объектҳои об

Аз рӯи нақшаи идоракунии дар расми 1 овардашуда мониторинги давлатии объектҳои об бо мақсади кам кардани таъсири омилҳои гуногуни табиӣ ва антропогенӣ ба ҳолати объектҳои об аз ҷониби Агентии обуҳавошиносӣ, Саридораи геологияи назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Хадамоти назорати давлатӣ дар соҳаи беҳатарии иншоотҳои гидротехникӣ, инчунин баъзе муассисаҳои илмӣ кишвар гузаронида мешавад.

Мутаассифона, ҳолати кунунии мониторинги давлатии объектҳои об ва таҷрибаи нишон медиҳад, ки ташкили раванди мониторинги мавҷуда ба таври зарурӣ

наметавонад беҳатарии экологии объектҳои обиро таъмин намояд.

Зиёда аз ин, вобаста ба тағйирёбии иқлим ва таъсири он ба захираҳои об, ки боиси коҳишёбии босуръати пирияхҳо гардидааст, дар навбати худ ба ифлосшавии объектҳои об, бахусус ба сифати манбаҳои оби нӯшокӣ хатари иловагӣ эҷод намудааст.

Масалан, дар асоси маълумотҳои оморӣ сифати оби дарёи Варзоб, ки қариб 60 % сокинони шаҳри Душанберо бо оби нӯшокӣ таъмин менамояд, таи солҳои охир аз ҳисоби обшавии пирияхҳо ва шусташавии соҳилҳо аз рӯи нишондиҳандаи

тиррагии об дар баъзе ҳолатҳо ба 10000 мг/л баробар мешавад, ки ин ба раванди минбаъдаи тозакунии об мушкилиҳоро пеш меорад.

Яке аз равандҳои муҳими мониторинги давлатии объектҳои об, ин мониторинги объектҳои низоми хоҷагии об, аз ҷумла ҳолати бехатарии иншоотҳои гидротехникӣ, инчунин ҳаҷми оби истеъмолшуда дар мавриди обтаъминкунӣ ва рафъи обҳои партов ба ҳисоб меравад.

Зиёда аз ин, мониторинги давлатии объектҳои об бояд пайваста мушоҳидаҳои доимии ҳолати объектҳои об, нишондихандаҳои сифатӣ ва миқдориро роҳандозӣ намуда, минтақаҳои ҳифзи обиро аз зериобмонӣ нигоҳ дорад.

Дар асоси натиҷаҳои гузаронидани мониторинги давлатии объектҳои об бояд маълумотҳо ба Низоми миллии иттилоотии об, ки дар сохтори Вазорати энергетика ва захираҳои оби Ҷумҳурии Тоҷикистон таъсис дода шудааст, ба таври автоматонӣ ворид карда шаванд. Ҳарчанд таъминоти иттилоотӣ оид ба натиҷаҳои мониторинг дастрас бошад, вале арзёбии сарборӣ аз ҷиҳати антропогенӣ ба объектҳои об, бахусус аз ҳисоби обистифодабарандагони самту соҳаи кишоварзӣ то ба ҳол ба таври назаррас, имконнопазир боқӣ мемонад.

Вобаста ба ин, ҷанбаҳои ташкилии мониторинги давлатии объектҳои об бояд ҳамчун маҷмӯи вазифаҳои бо ҳам алоқаманд ва дигар чорабиниҳои ташкилиро, ҷиҳати ҳалли вазифаҳои гузошташуда фарогир бошад (расми 2).

Бояд зикр намуд, ки масъалаи истифодаи маълумотҳо, аз ҷумла дастраси ба иттилооти дақиқ, инчунин мувофиқаи барномаи мониторинги объектҳои об бо сохторҳои марбута қобили мақсад буда, амалигардонии он барои шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон муҳим арзёбӣ карда мешавад. Дар навбати худ, назорати пайвастаи сифати муҳити зист, аз ҷумла объектҳои об харочоти зиёдро талаб ме-

намояд.

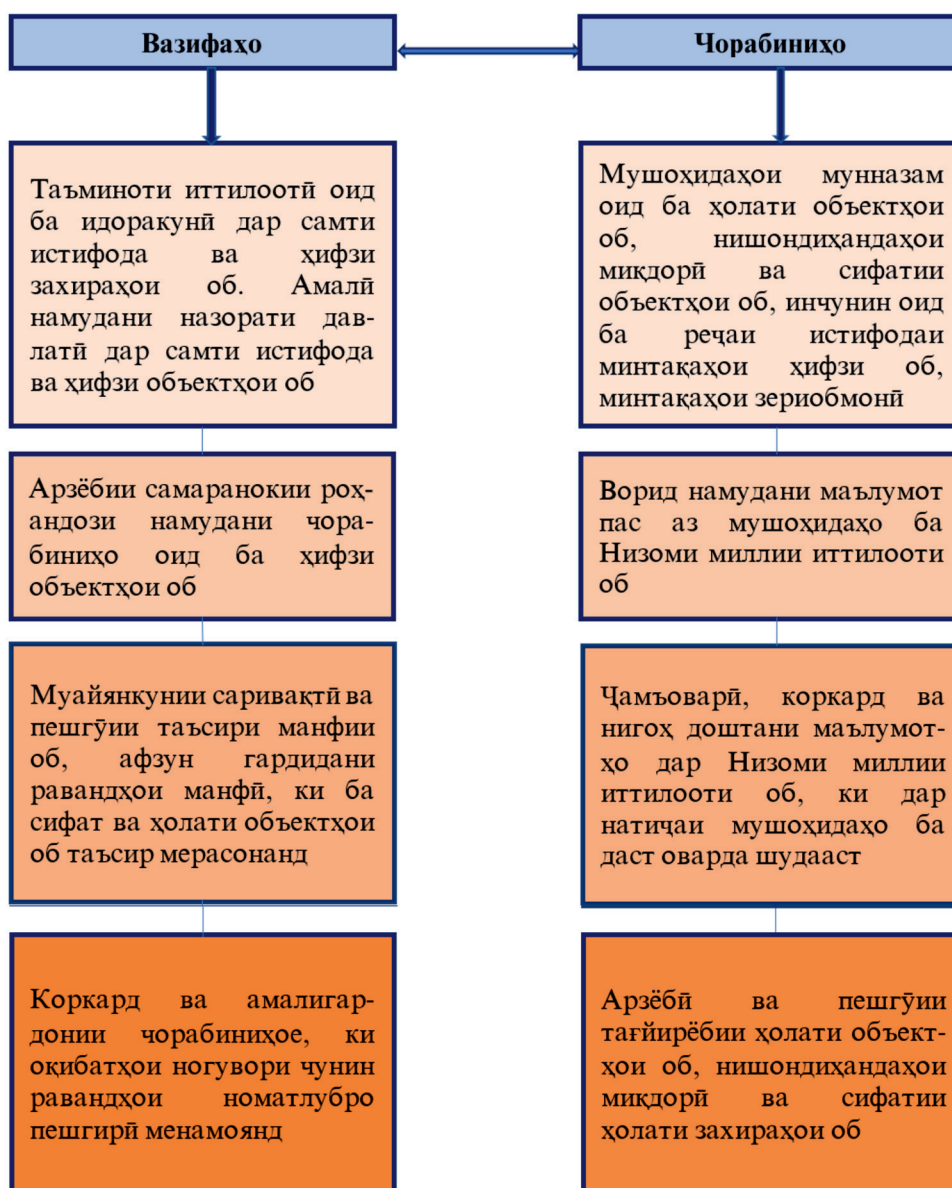
Вобаста ба ин, коркарди методологияи ягонаи мониторинги давлатии муҳити зист бо иноватии тамоми ҷанбаҳои ташкилию сохторӣ ба мақсад мувофиқ мебошад.

Зеро, коркарди роҳҳои ҳамгироёнаи мониторинги пайвастаи объектҳои об бо истифодаи усулҳои муосир барои арзёбии сифати об ва таъсиси шабакаи бисёрҷанбаи мониторинг имкон медиҳанд, ки бештар иттилооти дақиқу оҷилӣ ба даст оред ва қарорҳои муфиду самаранок қабул намоем. Памзамон, самаранокии ҳалли масъалаи мазкур дар сурате боз бештар амалӣ мегардад, ки агар иттилоот оид ба мониторинги давлатии объектҳои об ба таври рақамӣ бо истифодаи низоми иттилоотию географӣ (НИГ) ба роҳ монда шавад. Истифодаи НИГ на танҳо сарборӣ ва харочотро оид ба ҷамъоварӣ ва коркарди иттилоот кам мекунад, балки сифати таҳлили маълумотҳоро афзун намуда, муҳлати қабули қарорҳоро коҳиш медиҳад.

Дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои гузаронидани мониторинги обҳои рӯизаминӣ Агентии обуҳавошиносӣ масъул буда, дар асоси маълумоти шабакаи мушоҳидавии амалкунанда оид ба ҳолати обҳои рӯизаминӣ, аз ҷумла нишондихандаҳои миқдорӣ ва сифатии захираҳои об маълумотҳоро ҷамъоварӣ ва коркард менамояд. Натиҷаҳои коркарди маълумотҳо ба сохторҳои болоии давлатӣ пешниҳод карда мешаванд.

Мониторинги обҳои рӯизаминӣ, ки аз рӯи қори шабакаи мавҷудаи мушоҳидавӣ сурат мегирад, барои тавсифи минтақаҳое, ки ба сифати захираҳои об таъсир мерасонанд, аз мадди назар берун мемонад, ки ин дар навбати худ ба масъалаи интиҳоби барномаи қори мушоҳидавӣ оид ба нишондихандаҳои гидрохимиявӣ ва гидрологӣ, намуд ва таркиби онҳо, оварда мерасонад.





**Расми 2.** Сохтор ва ҷанбаҳои ташкилии гузаронидани мониторинги давлатии объектҳои об

Зиёда аз ин, дигар камбудии низоми мониторинги давлатии объектҳои об дар он аст, ки миқдори шабакаҳои мушоҳидавӣ ба талабот ҷавобгӯ набуда, дар дарёҳои хурд бошад, онҳо тамоман ба роҳ монда нашудаанд.

Ба ҳолати 01.01.2024 сол шабакаи мавҷудаи мушоҳидавии гидрологии Агенсии обуҳавошиносӣ 96 адад буда, солҳои ба истифода додани онҳо аз 43 то 91 солро ташкил медиҳад. Таърихи гузаронидани мониторинги сифати об дар Тоҷикистон ҳанӯз аз соли 1934 сарчашма мегирад.

Масалан, дар асоси маълумоти Агенсии обуҳавошиносӣ дар ҳавзаи дарёи Кофарниҳон аз 17 шабакаи гидрологӣ танҳо 11 адади он ба таври қаноатбахш фаъолият мекунанд. Шабакаҳои гидрологии ҳавзаи дарёи Кофарниҳон ба категорияҳои III ва IV (дараҷаи пасти ифлосшавии об ва таъсири начандон зиёди антропогенӣ) аз рӯи дараҷаи ифлоснокии объекти об мансуб мебошанд. Даврияти гузаронидани мушоҳидаҳо (назорати озмоишӣ) вообаста аз категорияи шабака то 7-12 маротиба дар як солро ташкил медиҳад. Тибқи

маълумоти Агентии обуҳавошиносӣ айнаи замон барои ҳавзаи дарёи Варзоб аз рӯи 25 номгӯи нишондиҳандаҳои сифати об мониторинг гузаронида мешавад, ки маълумоти мазкур танҳо барои фаъолияти дохилидоравӣ истифода карда мешавад.

Арзёбии ифлосшавии обҳои рӯизаминӣ дар асоси иттилооти гидрохимиявӣ, ки аз рӯи натиҷаҳои гирифтани намунаи об ва таҳлили химиявии он дар озмоишгоҳҳои Агентии обуҳавошиносии Кумитаи ҳифзи муҳити зисти назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон амалӣ мегардад. Низоми мушоҳидавии сифати обҳои рӯизаминӣ асосан дар ҷойҳое, ки бештар дучори таъсири фаъолияти хоҷагидорӣ гардидаанд, инчунин, дар ҳудудҳои махсус ҳифзшаванда низ мушоҳидаҳо гузаронида мешаванд.

Мониторинги обҳои зеризаминӣ бошад аз ҷониби Саридораи геологияи назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон тавассути ҷоҳҳои мушоҳидавӣ ва Агентии обёрӣ ва беҳдошти заминҳои назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон дар заминҳои қорам роҳандозӣ мегардад. Мониторинг аз рӯи минералнокӣ, маҷро ва сатҳи ҷойгиршавии обҳои зеризаминӣ гузаронида мешавад. Ҳадафи асосии мониторинг ин мушоҳидаи сифати обҳои зеризаминӣ ба шумор меравад.

Аз ҷониби Саридораи геология ҳамчунин минтақаҳои ҷойгиршавии обҳои зеризаминӣ, захираи онҳо, сифат ва таркиби химиявии обҳо дар қабатҳои обгузар муайян карда мешавад. Асосан нишондиҳандаҳои рН, зарраҳои саҳт, калтсий, магний, калий, сульфатҳо, хлоридҳо, оҳан, NO<sub>3</sub>, намакнокӣ умумӣ, нитроген, фосфатҳо ва арсен чен карда мешавад.

Дар асоси қонунгузори амалкунандаи Ҷумҳурии Тоҷикистон оид ба ҳифзи муҳити зист тамоми ифлоскунандагон вазифадоранд, ки аз рӯи партовҳои пайдошуда мушоҳида ва назорат баранд, тамоми нишондиҳандаҳоро дар озмоишгоҳҳо

таҳлил намуда, масъулиятро вобаста ба мониторинги сифати об бар ўҳда дошта бошанд ва шиносномаи нишондиҳандаҳои партовҳоро дошта бошанд. Дар сурати надоштани озмоишгоҳҳо корхонаҳо метавонанд барои таҳлили сифати об бо озмоишгоҳҳои хадамоти санитария эпидемиологии Вазорати тандурустӣ ва ҳифзи иҷтимоии Ҷумҳурии Тоҷикистон, ё ин ки Кумитаи ҳифзи муҳити зисти назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон тариқи шартнома оид ба мониторинги сифати об ҳамкорӣ намоянд.

Дар умум, таҳлили низоми ягонаи мониторинги давлатии экологӣ нишон медиҳад, ки дар ин раванд як қатор камбудӣҳо ва масъалаҳои ҷойдошта, бахусус зимни гузаронидани мониторинги давлатии объектҳои об муайян гардида, барои ҳалли онҳо аз ҷониби муаллифони дар ҳуҷҷатҳои мақола якҷанд тавсияҳои мушаххас пешниҳод карда шудаанд. Қобили зикр мебошад, ки ба сифати об дар қатори омилҳои табиӣ ва антропогенӣ, инчунин таркиби ҳолати таҳнишинҳои қарбӣ ва шусташавии соҳили объектҳои об таъсири назаррас мерасонанд.

Ҳаминро бояд таъкид намоем, ки дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон мониторинг ва пешгӯии ҳолати таҳнишинҳои қарбӣ объектҳои об амалан гузаронида намешавад (ба истиснои ҳолатҳое, ки ба таври инфиродӣ гузаронида мешавад). Аз ин рӯ, мониторинги ҳолати таҳнишинҳои қарбӣ объектҳои об, бахусус обанборҳо, ҳавзҳои барои таъиноти оби нӯшокӣ низ муҳим арзёбӣ карда мешавад.

Дигар камбудии раванди мониторинги сифати об дар он инъикос меёбад, ки ифлосшавии сифати оби дарёҳо аз ҳисоби рафъи обҳои партов, обҳои истифодашудаи соҳаи кишоварзӣ ва корхонаҳои саноатӣ ба таври дақиқ ва дуруст ба инобат гирифта намешаванд. Албатта, назорати чунин ҳолат вобаста ба гуногунҷабҳагии ҳаҷм ва таркиби партовҳо хеле мушкил

аст, вале дар сурати андешидани чораҳо метавон натиҷаҳои дилхоҳ ба даст оварда шаванд.

Аз ин рӯ, пешниҳод карда мешавад, ки барои ҳар як ҳавзаи дарёҳои хурду бузург сарчашмаҳои ифлосшавӣ мушаххас гардида, ҳаҷм ва таркиби химиявии онҳо муайян карда шуда, танҳо пас аз тозакунии пешакӣ ба объектҳои об интиқол дода шаванд. Ҳамзамон, дар ҳар нуқтаи сарчашмаҳои ифлосшавӣ шабакаҳои гидрологӣ насб карда шуда, мониторинги пайваста гузаронида шавад.

Ҳамин тавр, ба сифати ҳалли масъалаи муайянсозии сарчашмаҳои ифлосшавии объектҳои об ва амалӣ гардонидани назорат аз рӯи онҳо дар ҳама фаслҳои гидрологӣ: марҳилаи серобӣ дар давраи боришот, баҳусус дар давраи зиёдшавии ҳаҷм ва болоравии сатҳи об зарур шуморида мешавад, ки дар доираи мониторинги давлатии объектҳои об як қатор корҳо ва чорабиниҳои иловагии махсус ташкил ва роҳандозӣ карда шаванд.

### Хулосаҳо

1. Низомии ягонаи мониторинги давлатии экологӣ бо мақсади таъмини ҳифзи муҳити зист дар Ҷумҳурии Тоҷикистон, ки дар таркиби он мониторинги давлатии объектҳои об ва сохтори ташкилӣ таъсис дода шудааст, таҳлил карда шудааст.

2. Масъалаҳое, ки зимни гузаронидани мониторинги давлатии объектҳои об муайян гардиданд, имкон медиҳанд, ки оид ба раванди ифлосшавии объектҳои об, баҳусус ифлосиҳои хатарноки аз истеҳсоли кишоварзӣ ва корхонаҳои саноатӣ воридгардида ва бештар дар ҳавзаҳои дарёҳои хурд ҷойгиршуда, маълумоти боэътимод ва саҳеҳ ба даст оварда шавад.

3. Вобаста ба назорати пайвастаи таъсири таҳнишинҳои қаръӣ ба сифати объектҳои об зарур шуморида мешавад, ки мониторинги ҳолати онҳо гузаронида шуда, ҷиҳати коҳиш додани таъсири таҳнишиҳои қаръӣ ба муҳити зист ва об-

ектҳои об технологияҳои коркарди онҳо пешбинӣ карда шавад.

4. Таркиб ва сохтори маълумоти мониторинги давлатии объектҳои об, ки айни замон роҳандозӣ карда мешаванд, бояд бештар ба назорати сифати об дар минтақаҳои саноатӣ кишоварзӣ ва таъсири обҳои партов равона карда шавад.

5. Ҳалли масъалаҳои муайянсозии сарчашмаҳои ифлосшавии объектҳои об, арзёбии дараҷаи таъсири онҳо ба сифати захираҳои об ва роҳандозии назорат аз рӯи онҳо тақозо менамояд, ки гузаронидани корҳои махсуси иловагӣ дар ҳама фаслҳо ва ивазшавии речаи гидрологии дарёҳо дар мариди серобӣ ва боришот дар доираи гузаронидани мониторинги давлатии объектҳои об ташкил ва баргузор карда шавад.

### Адабиёт

1. Стратегияи миллии оби Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2040 / Қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон, таҳти №332 аз 24.11.2024 сол.
2. Барномаи давлатии таъмини оби нӯшокӣ ва рафъи обҳои партов барои солҳои 2025-2029 / Қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон, таҳти №332 аз 29.05.2025 сол.
3. Кодекси оби Ҷумҳурии Тоҷикистон / ш. Душанбе, 2 апрели соли 2020, № 1688.
4. Қонуни Ҷумҳурии Тоҷикистон “Дар бораи ҳифзи муҳити зист” / ш. Душанбе, 13 ноябри соли 2024, № 2099.
5. Қонуни Ҷумҳурии Тоҷикистон “Дар бораи мониторинги экологӣ” / ш. Душанбе, 13 ноябри соли 2024, № 2097.
6. Yasinskii, S. V. Diffuse pollution of water bodies and estimation of export of biogenic elements under different scenarios of water use in the watershed / S. V. Yasinskii, E. V. Venitsianov, I. A. Vishnevskaya // Water Resources. – 2019. – Vol. 46. – P. 266–277. – DOI: 10.1134/S0097807819020179.
7. Слабунова, А. В. О проблеме диффузного загрязнения водных объектов / А. В. Слабунова, А. П. Суровикина // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2020. – № 2(38). – С. 124–139. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=660&id=668>. – DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-124-139.
8. Regional problems of the provision of hygienic reliability of drinking water consumption / A.

- V. Tulakin, G. V. Tsyplakova, G. P. Ampleeva, O. N. Kozyreva, O. S. Pivneva, G. M. Trukhina // *Gigiena i Sanitaria*. – 2016. – Vol. 95(11). – P. 1025–1028. – DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-11-1025-1028.
9. Чернявский, С. И. Россия и современная гидрополитика / С. И. Чернявский // *Вестник МГИМО-Университета*. – 2011. – № 2(16). – С. 25–30.
10. Гидроэкологический мониторинг качества речных вод бассейна реки Амударьи в пределах Узбекистана / Э. И. Чембарисов, Ж. Б. Мирзакобулов, М. Н. Рахимова, Б. О. Расулов, З. У. Тиллаева // *Экология и строительство*. – 2019. – № 1. – С. 12–18. – DOI: 10.35688/2413-8452-2019-01-002.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В АСПЕКТЕ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Фазлиддини Н.<sup>1</sup>, Бобоев Т.Д.<sup>1</sup>, Муродов П.Х.<sup>2</sup>, Амирзода О.Х.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана

<sup>2</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

\*Автор корреспонденции: E-mail: orif2000@mail.ru

**Аннотация.** В настоящей статье анализируется единая система государственного экологического мониторинга в целях обеспечения охраны окружающей среды в Республике Таджикистан, и осуществляемой в ее структуре государственного мониторинга водных объектов. На основе анализа единой системы государственного экологического мониторинга, особенно при проведении государственного мониторинга водных объектов определены ряд существующих недостатков и проблем, где для их решения представлены конкретные рекомендации. Предложено, что для решения проблемы определения источников загрязнения водных объектов, оценки степени их воздействия на качества водных ресурсов и осуществлении надзора над ними, необходимо организовать и проводить специальные дополнительные работы во всех сезонах и периодах изменения гидрологического режима рек в рамках проведения государственного мониторинга водных объектов.

**Ключевые слова.** Государственный экологический мониторинг, качества воды, водный объект, питьевая вода, поверхностные и подземные воды, загрязнения воды, мониторинг донных отложений.

## CURRENT STATE OF THE ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM IN THE CONTEXT OF ASSESSING WATER POLLUTION

Fazliddini N.<sup>1</sup>, Boboev T.D.<sup>1</sup>, Murodov P.Kh.<sup>2</sup>, Amirzoda O.Kh.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan

<sup>2</sup>Tajik technical university named after academician M.S. Osimi

\*Corresponding – author: E-mail: u.tolibova@mail.ru

**Abstract.** This article analyzes the unified state environmental monitoring system aimed at protecting the environment in the Republic of Tajikistan, with a focus on the monitoring of water bodies conducted within its framework. Based on the analysis of the current system, several existing shortcomings and issues—particularly in water monitoring—have been identified. The article offers specific recommendations for addressing these challenges. It is suggested that, to identify sources of water pollution, assess their impact on water quality, and ensure proper oversight, additional targeted monitoring activities should be conducted during all seasons and hydrological periods of river flow variation, as part of the state water monitoring program.

**Keywords:** state environmental monitoring, water quality, water bodies, drinking water, surface and groundwater, water pollution, bottom sediment monitoring.

**Маълумот дар бораи муаллифони:** Фазлиддини Неъматулло, унвонҷӯи Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992)988919200; Бобоев Тоҳир Давлатович – докторанти соли дуҷуми PhD-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон; Муродов Парвиз Худойдодович, номзоди ил-



мҳои техники, муаллими калони Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С.Осимӣ. Тел.: (+992)905939346, E-mail: murodov.8686@mail.ru; Амирзода Ориф Ҳамид, д.и.т., сарҳодими илмӣ лабораторияи Сифати об ва экологияи Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992)937287272, E-mail: orif2000@mail.ru

**Сведения об авторах:** Фазлиддини Неъматулло- соискатель Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальная академия наук Таджикистана, Тел.: (+992)988919200; Бобоев Тохир Давлатович – докторант PhD 2 курса Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальная академия наук Таджикистана; Муродов Парвиз Худойдодович, кандидат технических наук, старший преподаватель, Таджикский технический университет им.акад М.С. Осими, Тел.: (+992)905939346, E-mail: murodov.8686@mail.ru; Амирзода Ориф Ҳамид, д.т.н., главный научный сотрудник лаборатории качества воды и экологии Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: (+992)937287272, E-mail: orif2000@mail.ru

**Information about the authors:** Fazliddini Nematullo, graduate student of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Phone:(+992)988919200; Boboev Tohir Davlatovich – doctorant PhD of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan; Murodov Parviz Khudoidodovich, Candidate of Technical Sciences, Senior Teacher of the Tajik Technical University named after acad. M.S.Osimi, Phone:(+992)905939346, E-mail: murodov.8686@mail.ru; Amirzoda Orif Khamid, doctor of technical sciences, is a Senior Research Fellow at the Laboratory of Water Quality and Ecology, Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Phone: (+992)937287272, E-mail: orif2000@mail.ru

НЕКОТОРЫЕ ГЕНЕРИРУЮЩИЕ ОБЪЕКТЫ В  
ДОЛИНАХ РЕК ТАДЖИКИСТАНА И ИХ ПРИТОКАХАрифов Х.О.<sup>1,\*</sup><sup>1</sup>Институт экономики и демографии Национальной академии наук Таджикистана

\*Автор-корреспондент. E-mail: khamidarifov@gmail.com

**Аннотация.** Таджикистан не располагает существенными разведанными ресурсами углеводородных источников энергии. Республика сегодня не может обеспечить свои потребности в первичных энергоресурсах.. Наша республика является лидером Центральной Азии по производству гидроэнергетической энергии. Для развития экономики и обеспечения энергетической безопасности представлены сведения по размещению тепловых и гидроэлектрических станций. Обсуждаются размещение генерирующих мощностей и предложения по сооружению станций в долинах основных рек и их притоках. Показано, что размещение ТЭЦ и ГЭС на реках и их притоках имеет как преимущества, так и риски по обеспечению безопасности.

**Ключевые слова:** уголь, мощность, генерация, река, приток, ТЭЦ, ГЭС, эффективность, схематическая карта, энергетическая безопасность.

**Введение**

Достижение энергетической независимости - приоритетная цель стратегического развития Таджикистана на период до 2030г. Достижение её осуществляется через обеспечение энергетической безопасности. Осознание правительствами многих стран значимости энергетического комплекса для социально-экономического развития привело к созданию концепции «энергетическая безопасность». Она может быть осуществлена только при условии обеспечения потребности в электроэнергии и тепла, по приемлемой стоимости, населения и всех секторов экономики страны. Это требует достаточно-го уровня развития тепловой генерации и производства энергии от возобновляемых источников.

Республика располагает следующими ресурсами первичной углеводородных источников, находящихся на государственном балансе, по состоянию на 01.01.2021(в тыс. т.)

1.Уголь по категориям запасов:  $A+B+C_1 = 313\,095,054$ ;  $C_2=451\,243,3$ ;

2.Нефть по категориям запасов:  $A+B+C_1$ , геологические=25 754,34, извлекаемые=2 338,616;

3.Газ (в млн. м<sup>3</sup>) по категориям:  $A+B+C_1-P=644,02$ ;  $P=117,5$ .

Сегодня, на территории Таджикистана имеются действующие филиалы Центра производства электроэнергии и тепла г. Душанбе, которые ещё недавно входили в состав Душанбинской ТЭЦ-1, «Западные», «Восточные» котельные, и ТЭЦ-2. Для всех их основным первичным источником является газ, а резервным- мазут(ТЭЦ-1) или уголь (ТЭЦ -1). В презентации [1], сообщается, что разведанность начальных ресурсов территории Республики Таджикистан низкая и не превышает, в целом по нефти и газу–2,6%.

Де-факто, мы вынуждены признать, что сегодня наша республика не имеет возможности обеспечить свои внутренние потребности в нефтегазовом сырье и продуктах его переработки из своих месторождений. На импорт горючего и газа Таджикистан вынужден тратить до 700 млн. дол. США в год. В период экономического кризиса такие затраты являются непомерно высоким бременем для нашего бюджета и экономики в целом.

Таблица 1. Добыча нефти, газа и угля в 1991-2023 гг.

Годы	1991	2000	2002	2003	2004	2006
Нефть, тыс. тонн	98	18	16	18	19	24
Газ, млн. куб.м	83	39	32	32	34	18
Уголь, тыс.тонн	467	19	24	36	46	98
Годы	2015	2017	2019	2022	2023	
Нефть, тыс. тонн	25	23	23	24,9	18,0	
Газ, млн. куб.м	4	2	1	0,8	0,4	
Уголь, тыс. тонн	1041	1760	2028	2394	2084,	

Таблица 1 построена автором по таблицам сайта: stat.tj, Промышленность Республики Таджикистан 2020, 2021, 2024 гг. Агентства по статистике при Президенте Республики Таджикистан.

В 2024 году в Таджикистане за год добыли 16 136,9 тонн нефти и 362,4 тыс. м<sup>3</sup> природного газа. Кроме того, Таджикистан увеличил импорт нефтепродуктов и сжиженного газа. [2]

В 2024 году поставки составили 1 млн 541,3 тыс. тонн, что на 9,1% больше, чем в 2023 году. Этот рост обусловлен растущими потребностями транспортного сектора и экономики страны. [3]

Уголь. Республика Таджикистан богата углями, расположенными в различных частях её территории. Угля достаточно для обеспечения потребности в нем как топлива, а также для создания технологической химической промышленности.

Из более 36 месторождений и проявлений угля, известных на территории Таджикистана, детально изучены только два: Шураб и Фан-Ягноб. На ряде месторождений проведена предварительная разведка и выполнены ревизионные работы. На некоторых в разное время проводились добычные работы (Зидды, Назар-Айлок, Миенаду, Магиан, Кштут-Зауран, Ташкутан, Суффа, Шуруобод, Равнов).

Уголь может быть использован в качестве источника генерации электрической и тепловой энергии в настоящее время и ближайшей перспективе. На основе обобщения материалов геологоразведочных,

научно-исследовательских и тематических работ, использования новой картографической основы, уточнения кондиций и совершенствования методики оценки прогнозные запасы углей Таджикистана оценивались 3,6 млрд т. При этом были сняты с учета прогнозные ресурсы месторождений, получивших отрицательную оценку по результатам геологоразведочных работ. С другой стороны, на ряде участков и площадей, где были проведены геологоразведочные работы, часть прогнозных ресурсов переведена в группу разведанных по балансовым категориям запасов. [4]

Тепловые станции генерируют базовую энергию. На базе использования углей месторождения Фан-Ягноб, Шуруоб, Назар-Айлок и других рассматривались различные варианты сооружения тепловых станций, с мощностями 300;500 и даже 700МВт.

Необходимо обратить внимание на экологов, которые настаивают на негативном влиянии углей на окружающую среду и прежде всего на здоровье человека.

В табл.2 представлены сведения, показывающие некоторые качественные характеристики углей, части месторождений Таджикистана. Наши угли в составе имеют: серу, азот, ртуть, мышьяк, уран и другие вредные компоненты.

Таблица 2. Месторождения, ввод в эксплуатацию, качество, запасы, примеси в углях Таджикистана.

Место- рожд- ение	Год ввода в эксплу- атацию	Вид угля	Оценоч- ные запасы (млн. тонн )	Тепло- творная способ- ность (кКал/ кг)	Сера (%)	Азот (%)	Ртуть (%)
Миёнаду		Антрацит	645	8 373	1,25		
Назар- Айлок	1991	Антрацит	300	8 394	0,13-0,62	1,04-1,52	
Равноу			179	7 576			
Сайят		Антрацит	1	7 385			
Шураб		Бурый уголь	130	6 679	1,05		
Зидды		Антрацит	90	4689-7471	0,51-0,68		

Источник: [5]

«Среди веществ, которые попадают в окружающую среду при сжигании углей на ТЭС, наибольшую опасность представляют летучие соединения и токсические вещества, такие как ртуть, мышьяк, свинец, кадмий и другие. Попадая в организм человека в относительно небольших количествах, они способны накапливаться там, вызывая разрушение органов, возникновение злокачественных опухолей, мутагенные эффекты и понижение сопротивляемости к инфекциям». [6]

В Таджикистане, использование угля для целей энергетики является вынужденной, временной мерой.

В отдалённой перспективе может возникнуть идея строительства атомной станции на Восточном Памире для разработки месторождения бора Ак-Архар и в Аштском районе, для орошения целинных земель.

Актуальность исследований. В Таджикистане, как развитие базовой энергетики, так и гидроэнергетики требуются продуманное, обоснованное размещение генерирующих энергетических объектов. Желательно, максимально близко располагать тепловые генерирующие объекты к руслам рек или их притокам, не говоря уже о ГЭС. Тепловая генерация и передача пара и горячей воды по трубопроводам к потребителям, требует огромного

объёма воды. В 2024г на Душанбинской ТЭЦ-1, переименованной в Филиал «Центра энергии и тепла -1», (сокращённо ЦЭТ-1) в «Западной» и «Восточной» котельных израсходовано 4 540 816 тонн воды. [7]. На Душанбинской ТЭЦ-2, имеющей мощность по генерации 400МВт, а по теплу-657 Гкал/ч, потребляет воду, вероятно раза в два больше, чем ТЭЦ-1.

За счёт развития гидроэнергетики страна ожидает до 2030года ликвидировать дефицит электроэнергии, включая отмену лимитов для населения районов, проживающих в сельской местности.

Целью статьи является демонстрация фактических действий правительства через реализуемые проекты основных энергообъектов, и в первую очередь гидроэнергообъектов, размещаемых в долинах рек Таджикистана и на её притоках.

Методика выполнения исследования. Сбор опубликованных исследований, материалов аналитических отчётов на лицензионных площадях с целью поиска углеводородных месторождений, презентаций по названной тематике, а также собственных проработок, в период работы в геофизическом отделе Главного управления геологии при Правительстве Республики Таджикистан, ОАХК «Барки Точик», Институте экономики и экологии НАН РТ, с комплексным анализом совокупного материала.



Обсуждение результатов исследований.

Были собраны оценки состояния исполнения проектов, объёмы финансирования для реализации гидроэнергообъ-

ектов, ожидаемые сроки завершения и показатели их мощности.

В табл. 3 представлены ГЭС на основных реках Таджикистана.

**Таблица 3.** ГЭС на основных реках в Таджикистане и её притоках

Бассейн реки/ГЭС	На 2024г. находятся в эксплуатации, мощность (МВт )	На 2024г находятся в строительстве ГЭС; мощность (МВт);	В 2030-2040гг должны быть построены ГЭС; мощность (МВт); стоимость млрд. \$.
<b>АМУДАРЬЯ</b>	-нет		
Вахш - приток р. Амударья	Каскад из 7-ми вахшских ГЭС(4 775); ГЭС Рогун (400 из 3600);	Рогун (3200 из 3600);	Рогун – (3780 МВт); Более 6,29 млрд Шуроб – (862);. Более 1. Нурек -2 (90-100);148.
Обихингоу приток р. Вахш	-нет	-нет;	Нуробад 1,2-(550); Порядка -0,968. Сангвор – (800); Более 1.
Пяндж (на притоках)	-нет; 11 МГЭС; (до 44,780)	-нет	Санобад –(208/500); Более 0,549 / 1.3 Чарсем (14); Порядка11-13
Мургаб- приток р. Пяндж	Аксу(0,6); Таджикистан (1,5)	-нет	-нет
Себзор- приток р. Пяндж		Себзор (11);	-нет
Зеравшан-приток р. Амударья	-нет	-нет	Яван-(120); Порядка-0,255.
Фандарья- приток р. Зеравшан	-нет	-нет	Фандарья -(200); Более 0,200.
<b>СЫРДАРЬЯ</b>	Караккумская (126)	.>126МВт	(170); 175млн.\$

Таблица 3 построена автором по различным источникам, из отчётов «Барки Точик»

Большая часть гидроэнергетического потенциала Таджикистана сосредоточено на реке Амударья и её притоках. Они расположены на высокогорных горных участках и питаются из снежников и ледников Памиро-Аллая, создавая приток, составляющий более чем 60% стока бассейна бывшего Аральского моря. [8]

Как видно из таблицы 3 на реке Вахш, на существующем каскаде Вахшских ГЭС

(Головная-Сарбанд, Перепадна и Центральная), продолжается строительство шестой станции, Рогунской ГЭС, с высокой плотины 335м.

По реке Зеравшан, руководители Таджикистана и Узбекистана договорились построить две ГЭС: Яванскую и Фандарьинскую, с общей мощностью порядка 320МВт.

На рис. 2 представлен вид места размещения Яванской ГЭС.



Рисунок 2. Вид на место створа Яванской ГЭС.

Карта старая (сороковых годов прошлого века). Сейчас дорога находится на левом берегу р. Зеравшан (течение с права на лево). Створ, предположительно будет расположен в русле, напротив несущего

ствоящего в настоящее время кишлака Кошана.

На рис. 3 имеется вид на место «айнинского завала» и устьевую часть каньон образного ущелья Фан-Дарьё.

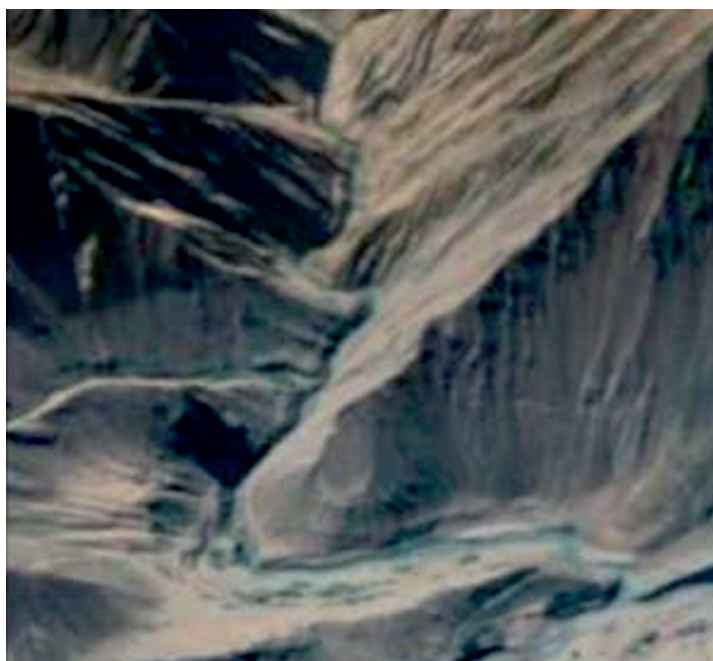


Рисунок 3. Вид на место обрушения «айнинского завала» 1964 года и устьевую часть ущелья Фан-Дарья, где планируют строительство ГЭС Фан-Дарья.

С вершины горного склона, что расположен на левом берегу (по течению Фан-Дарьи, река течёт на зрителя) и представлен в верхнем правом углу фотоснимка, обрушился оползень огромного объёма. Причины схода оползня до конца не выяснены. Есть риск повторного схода, в

связи с созданием ГЭС. Высота плотины, по некоторым оценкам, будет, порядка 200 м. Это создаст большой напор и вызывает значительные вибрации в окрестностях плотины. В аналогичных условиях на Нурекской ГЭС возникали условия для формирования обвалоопасных масс. [9]

Предполагается, что от Яванской и Фан-Ягнобской ГЭС, большая часть генерируемой электроэнергии будет экспортироваться в Узбекистан по себестоимости. Очевидно, что намеченные створы, не позволят отбирать воду для развития населённых кишлаков. На наш взгляд, более выгодно реализовать проект ГЭС на реке Матча. Этот проект был проработан в советское время всесоюзным институтом «Союзгипроводхоз» для створа Исиз-боло, как конкурентный вариант проекту переброски части стока реки Матча для орошения массива в Ура-Тюбинском районе, в створе Оббурдон. [10]

### Выводы

1. На импорт горючего и газа Таджикистан вынужден тратить до 700 млн. дол. США в год. На Душанбинском Филиале «ЦЭТ-1» газ и топочный мазут используется для производства тепла и электроэнергии.

2. «ЦЭТ-1», «Западные» и «Восточные» котельные, только в 2024 году использовали более 4, 5 млн. т. воды.

3. В республике имеются прогнозные запасы, порядка 3,6 млрд т. угля. Он используется при генерации электрической и тепловой энергии на Душанбинской ТЭЦ-2, и в незначительном объёме на «Восточной» котельных.

4. На реках и их притоках сосредоточены основные ТЭЦ и ГЭС Таджикистана. Их рациональное размещение имеет существенное значение. В 2024 г на ГЭС произведено 92,6% всей электроэнергии.

### Литература

1. Ш. Худобахшева. Перспективы нефтегазовой отрасли в Таджикистане. Презентация. Date 27. 04.2023, Geneva
2. Промышленность Республики Таджикистан. Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан. 2025г
3. Таджикистан в 2024 году увеличил объем добычи нефти и природного газа. <https://avesta.tj/2025/01/30/tadzhikistan-v-2024-godu-uvlechil-obem-dobychi-nefti-i-prirodnogo-gaza/> Avesta.tj
4. Абдурахимов Б. А., Охунов Р. В. Угольная промышленность Таджикистана: Сырьевая база, состояние и перспектива развития. Недра, Душанбе, 2011, -248с
5. Таджикистан. Генеральный план развития энергетического сектора- заключительный отчет.
6. Бурханова М. Угольная дилемма Таджикистана. <https://cabar.asia/ru/ugolnaya-dilemma-tadzhikistana>
7. Годовой отчет Филиала "Центра производства энергии и тепла-1 ", ОАО "Барки Тоҷик" 2024г. У.С. Ниёзов, К.Сайфуллоев, Т.И. Ратини.
8. Арифов Х.О. Размещение новых мощностей генерации электроэнергии в Таджикистане, в перспективе. Экономика Таджикистана 4(2), 2021, -С.136-143
9. Арифов Х.О. Вопросы обеспечения технико-экономической безопасности каскада ГЭС на реке Вахш. Дониш.г. Душанбе, 2022г. с.435
10. Арифов Х.О. Безопасное и эффективное использование системы гидроэнергетики, и электрических сетей в Таджикистане. Дониш. г. Душанбе, 2023г. с.329

## БАЪЗЕ ИНШООТҲОИ ИСТЕҲСОЛКУНАНДА ДАР ВОДИҲОИ ДАРЁҲОИ ТОҶИКИСТОН ВА ШОҲОБҲОИ ОНҲО

Арифов Х.О.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Институтҳои экономика ва демографияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

\*Муаллифи масъул: E-mail: khamidarifov@gmail.com

**Шарҳи мухтасар.** Тоҷикистон дорои захираҳои назарраси энергияи карбогидридӣ нест. Имруз ҷумҳури талаботи худро ба ресурсҳои аввалини энергия қонеъ гардонда наметавонад. Вале ҷумҳурии мо аз ҷиҳати истеҳсоли энергияи обӣ дар Осиёи Миёна ҷои якумро ишғол мекунад. Барои рушди иқтисодиёт ва таъмини амнияти энергетикӣ дар бораи ҷойгиркунии нерӯгоҳҳои ҳароратӣ ва барқии обӣ маълумот дода мешавад. Ҷой додани иқтидорҳои истеҳсолкунанда ва тақлифҳои он ба сохтмони станцияҳои дар водии Амударё, Панҷ, Вахш ва шохобҳои онҳо муҳокима карда мешавад. Исроф шудааст, ки дар дарёҳо ва шохобҳои онҳо ҷойгир кардани нерӯгоҳҳои барқӣ обӣ аз ҷиҳати бехатарӣ ҳам бартарӣ ва ҳам хатар дорад.

**Калидвожаҳо:** ангишт, нерӯ, тавлид, дарё, шохоб, нерӯгоҳи барқӣ обӣ, самаранокӣ, харитаи схематикӣ, амнияти энергетикӣ.



## AN OVERVIEW OF SELECTED GENERATING FACILITIES IN THE RIVER VALLEYS OF TAJIKISTAN AND THEIR TRIBUTARIES

Arifov Kh.O.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Economics and Demography National Academy of Sciences of Tajikistan*

<sup>\*</sup>*Corresponding author: E-mail: khamidarifov@gmail.com*

**Abstract.** *Tajikistan does not have significant proven hydrocarbon energy resources. Today, the Republic cannot meet its needs for primary energy resources. However, our republic is the leader in Central Asia in hydroelectric generation. To develop the economy and ensure energy security, information is provided on the placement of thermal and hydroelectric power plants. The placement of generating capacities and proposals for the construction of stations in the valleys of the Amu Darya, Pyandzh, Vakhsh rivers and their tributaries are being discussed. It has been shown that the placement of hydroelectric power plants on rivers and their tributaries has both advantages and risks in terms of safety.*

**Keywords:** *coal, capacity, generation, river, tributary, hydroelectric power station, efficiency, schematic map, energy security.*

**Сведения об авторе:** Арифов Хамиджон Обидович, к.г.-м.н., ведущий научный сотрудник отдела исследования и рационального размещения производительных сил Таджикистана, Адрес: город Душанбе, тел.93-560-07-40; E-mail: khamidarifov@gmail.com.

**Information about the author:** Arifov Hamidjon Obidovich, PhD in Geology and Mineralogy, leading researcher at the Department of Research and Rational Allocation of Productive Forces of Tajikistan. Address: Dushanbe, Tel. 93-560-07-40; E-mail: khamidarifov@gmail.com.

УДК 536.584.6

## УЛУЧШЕНИЕ РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Саттаров С.А.<sup>1</sup>, Бахриев С.Х.<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>*Самаркандский государственный университет им. Ш.Р. Рашидова*

<sup>2</sup>*Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана*

<sup>\*</sup>*Автор корреспондент. E-mail: bahriev@mail.ru*

**Аннотация.** *рассчитано изменение температуры тепловой системы солнечных водонагревателей, содержащей материалы с фазовым переходом-МФП (PCM, phase change materials) при различных режимах подачи тепла. Проведен анализ изменения температуры с учетом теплоемкости основного и дополнительного теплоносителя и скрытой теплоты фазового перехода. Сделана оценка температурной зависимости для гелиосистем с учетом суточного изменения угла наклона солнца. Приведены выводы использования результатов.*

**Ключевые слова:** *МПФ (PCM) материалы, энтальпия, скрытая теплота плавления, температура фазового перехода.*

### Введение

Вещества поглощающие и выделяющие тепловую энергию соответственно в процессе плавления и затвердевания в настоящее время все шире применяются на практике [1-6]. Примерами могут служить применение материалов с изменяемой фазой (PCM- phase change materials) в качестве тепловых батарей в различного рода гелиосистемах. Область применения систем хранения скрытого тепла прости-

рается от карманных обогревателей до функционального текстиля и элементов стен и потолков в строительстве. Данные материалы используются в различных областях, в том числе и в управлении температурой в закрытых помещениях. МПФ должны эффективно и устойчиво управлять выделением и поглощением скрытой теплоты. Гидратированные соли и парафин — два из наиболее распространенных МПФ. Они также используются в



системах хранения тепловой энергии для солнечных электростанций, в холодильных системах и в продуктах индивидуального охлаждения. Выбор РСМ зависит от конкретного применения и необходимой температуры фазового перехода. Эффективность МПФ определяется его теплоемкостью, теплопроводностью и стабильностью в повторяющихся циклах фазового перехода.

**Обоснование проводимых опытов.** По техническим и экологическим соображениям данные материалы должны обладать следующими свойствами:

1. Скрытая теплота плавления должна составлять не менее 300 КДж /кг,
2. Регулируемая температура фазового перехода должны быть от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+120^{\circ}\text{C}$  (узкий пик цикла «Плавление-затвердевание» с шириной не более 50.)
3. Стабильность в течении более тысячи термических циклов.
4. Долговечность и не токсичность.

При расчетах термодинамического равновесия, в системах содержащих МФП, следует учитывать точку фазового перехода, ширину перехода, значение скрытой теплоты и естественно сложный вид теплопередачи и тепловых потерь. Нелинейность возникает в точке фазового перехода. Нелинейные термодинамические системы с фазовым переходом недостаточно исследованы на предмет

расчета теплового баланса с разной скоростью подачи тепла. Между тем, такая термодинамическая задача возникает в гелиосистемах (солнечные водонагреватели с тепловыми батареями) [7-9]. В связи с этим, в данной работе приведены расчеты изменения температуры при различных вариантах скорости выработки тепла. Полученные данные необходимы для проектирования эффективных тепловых систем на базе веществ с изменяемой фазой, имеющих как минимум одну точку фазового перехода.

2. Расчеты изменения температуры в нелинейных системах. Во всех альтернативных источниках энергии есть один недостаток – скорость выработки энергии изменяется и зависит от климатических факторов. В частности, для гелиосистем солнечных водонагревателей имеется дневное изменение солнечной радиации. Дневная, месячная и годовая инсоляции на местности в конечном случае зависит: от солнечной постоянной, угла падения, продолжительности дня, от расстояния от Земли до Солнца, прозрачности атмосферы. Для выбора оптимального режима работы гелиосистемы следует учитывать ход температурной кривой от времени суток. Таким образом, скорость выработки тепла в системе неравномерно по времени. В общем случае, суммарный тепловой баланс нагрева многокомпонентной системы за светлое время суток, содержащей материалы с изменяемой фазой можно выразить следующим уравнением:

$$Q = \Delta T \sum m_i C_i + \delta(T - T_{pc}) m_{pcm} H \quad 1)$$

где  $Q$  — переданное количество тепла,  $m_i$  — масса  $i$ -компонента,  $C_i$  — удельная теплоемкость  $i$ -компонента, а  $\Delta T$  — изменение температуры,  $\delta$ -Дельта функция, в точке фазового перехода  $T_{pc}$ ,  $m_{pcm}$ ,  $H$

— масса и удельная энтальпия РСМ материала. Полное количество выработанной и переданной теплоты (эти две величины для простоты считаются одинаковыми) за время  $t$  будут равны:

$$Q = \int_0^t q(t) dt \quad 2)$$

где  $q(t)$ - скорость выработки теплоты за световой день. В общем случае динамическое уравнение будет выглядеть так:

$$\int_0^t q(t) dt = \Delta T(t) \sum m_i C_i + \delta(T(t) - T_{pc}) m_{pcm} H \quad 3)$$

2.1 Результаты опытов показали что, равномерная выработка тепла, при равномерной выработке тепла (постоянной скорости подачи тепла) модель показана на рис.1.

$A=1400$  КДж/час (для определенности мощность солнечного излучения принята  $200 \text{ Вт/м}^2$  при площади  $S=2 \text{ м}^2$  для 200 литрового солнечного водонагревателя),  $q(t)=\text{const}$  температурная зависимость  $\Delta T(t)$  представляет собой линейно возрастающую функцию  $\Delta T(t) = \frac{A}{\sum mc} t$ .

Если принять, что  $m_v=200$  кг,  $C_v=4,2$  КДж/кгК,  $m_{pcm}=10$  кг,  $C_{pcm}=2$  КДж/кгК, временной коэффициент изменения температуры будет равен  $1,62$  К/час, т.е. при световом дне в 12 часов температу-

ра поднимается линейно примерно на  $200^\circ\text{C}$ . Полное количество выработанной теплоты за световой день будет равна  $18\,720$  КДж. При внедрении в основной теплоноситель некоторую массу вещества  $m_{pcm}$  с изменяемой фазой внутри температурного интервала с точкой перехода  $T_{pc}$  возникает поглощение равное скрытой теплоте плавления  $H$ -энтальпии,  $3\,000$  КДж, т.е.  $16\%$  тепла может быть поглощено при прямом фазовом переходе. На кривой зависимости температуры от времени это будет выглядеть как плоское плато на ординате  $T_{pc}$  при данных приведенных выше с шириной примерно равной около 2 часа. Данный процесс обратим.

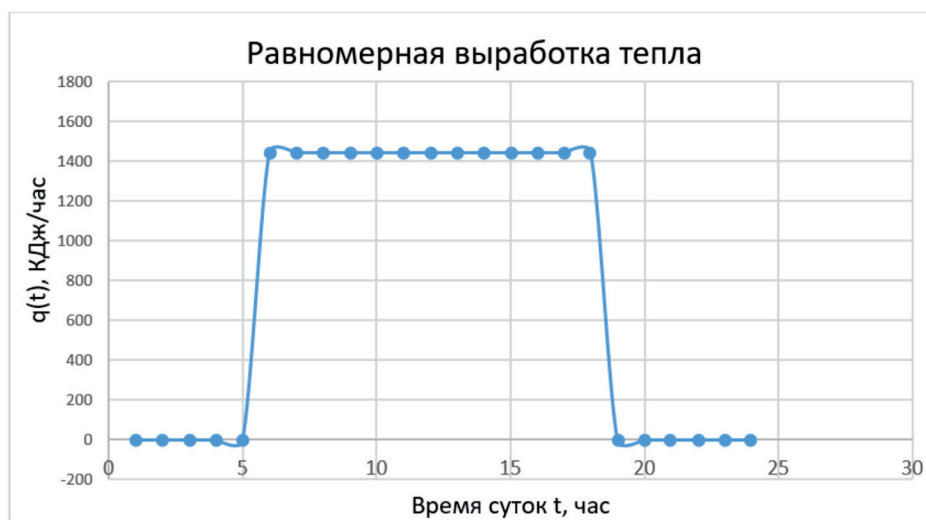


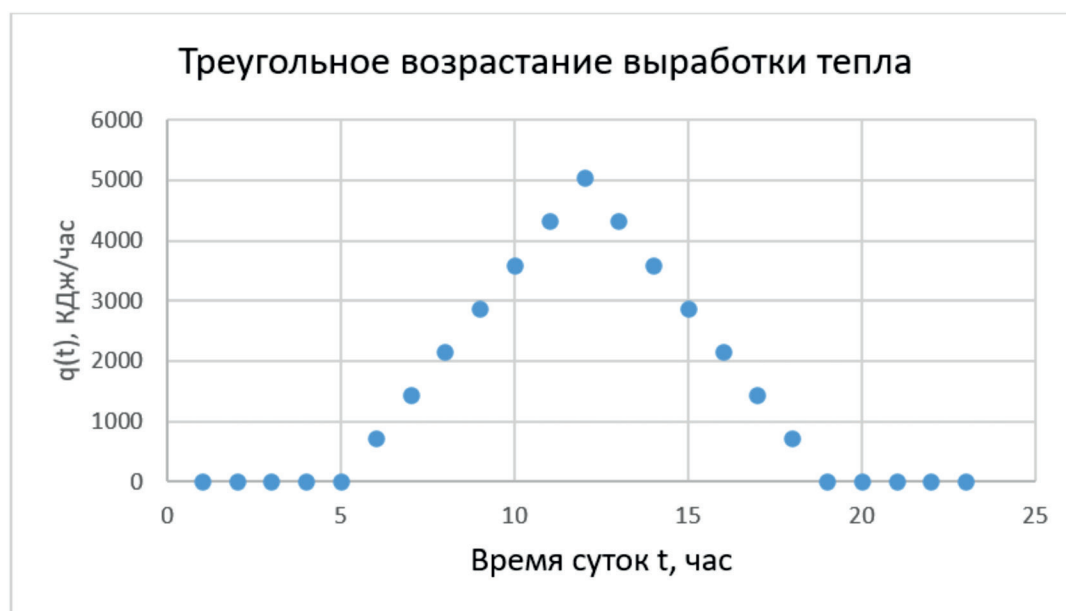
Рисунок 1. Модель равномерной выработки тепла

2.2 Выработка тепла с профилем линейно возрастающей функцией.

При равномерно возрастающей скорости выработки тепла (мощностью солнечного излучения от  $100$  до  $700 \text{ Вт/м}^2$  на таком же солнечном водонагревателе) равно  $q(t)=Vt$  ( $V=840$  КДж/час) температурная зависимость  $\Delta T(t)$  представляет собой параболическое возрастание разницы температуры от времени

$$\Delta T(t) = \frac{V}{\sum mc} t^2.$$

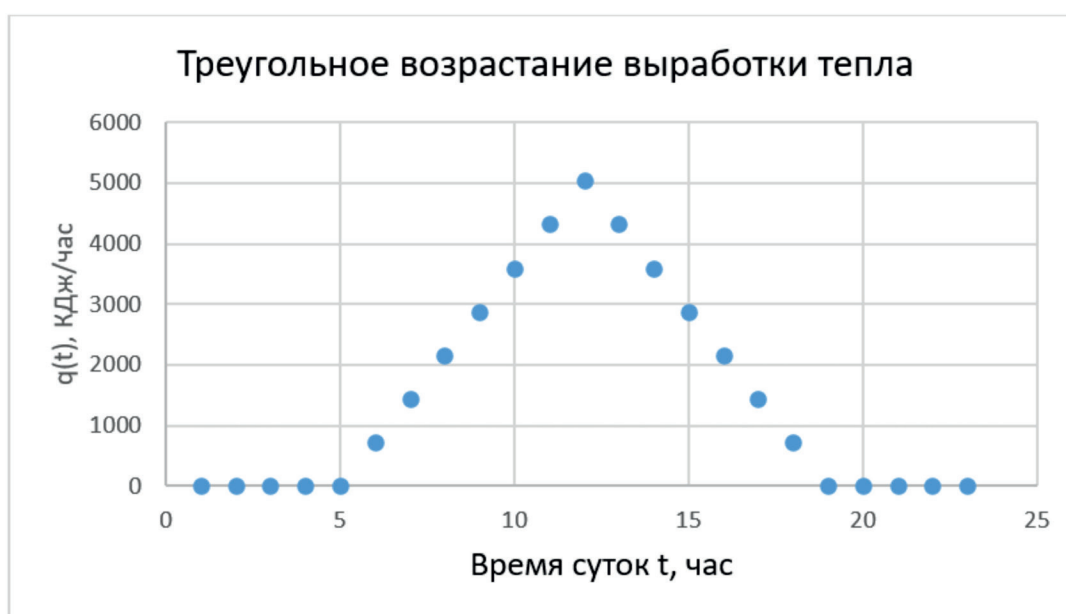
Полное количество выработанной теплоты за световой день выражается интегрированием данной линейно возрастающей функции- $15\,210$  КДж. Как было показано выше при внедрении в основной теплоноситель некоторой массы вещества  $m_{pcm}$ , также возникает плато неизменности температуры при фазовом переходе.



**Рисунок 2.** Модель треугольного изменения выработки тепла в течении светового дня.

2.3 Синусоидальный профиль скорости выработки тепла. В большинстве случаях профили скорости подачи тепла на различных гелиосистемах (плоские водонагреватели, нагреватели с вакуумными трубками и т.д.) различны. Но во всех этих системах зависимость выработки тепла от угла падения солнца неизбежна.

Приток солнечной радиации на горизонтальную поверхность земли, а значит и скорость подачи тепла зависит не только от продолжительности дня, но также и от высоты солнца. Высота солнца меняется в зависимости от широты места, времени года и суток. Это примерно будет выглядеть так [5]:



**Рисунок 3.** График суточной солнечной радиации (из работы [5]).

Так как суточное изменение солнечной радиации сильно подвержено влиянию угла падения к нормали горизонтальной поверхности  $\alpha(t)$  через косинус угла падения между нормалью к площадке, скорость выработки тепла в первую половину дня будет равна  $q(t) = 5760 \frac{\text{КДж}}{\text{час}} \times$

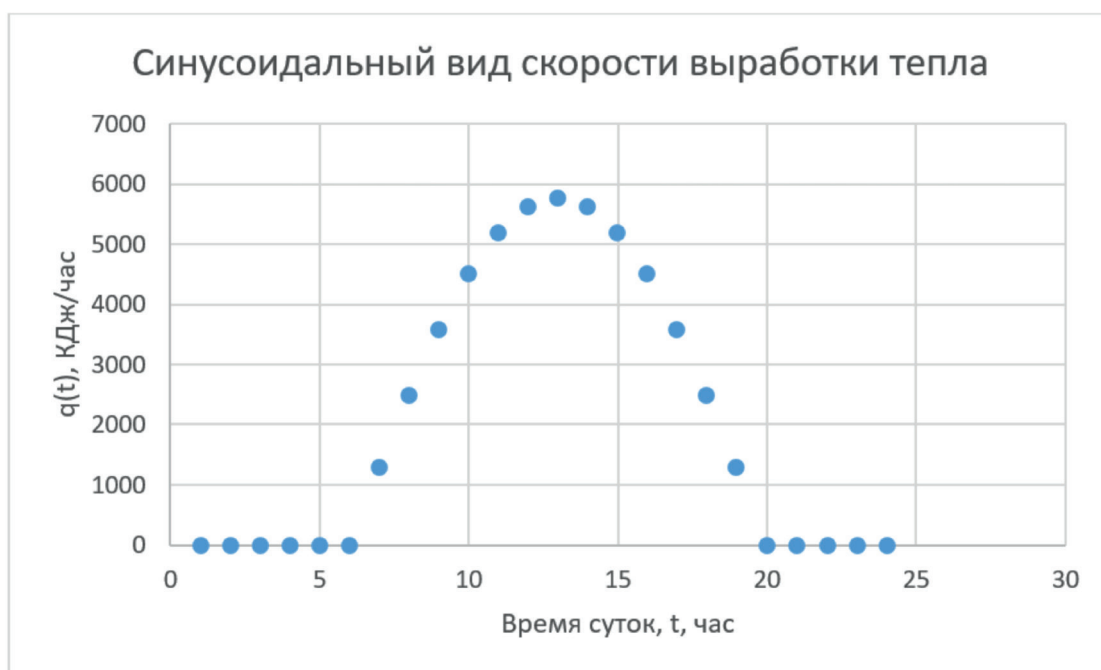
$$C \times \sin \left[ \frac{\pi}{7} (t - 6) \right], t - \text{время в часах,}$$

$C$  – постоянная, связанная с геометрией и с конструкцией теплопередачи гелиосистемы. Принято, что время восхода в

$6^{00}$  и время наивысшего подъема солнца (зенит) в  $13^{00}$ , максимальная мощность солнца  $800 \text{ Вт/м}^2$  при  $2 \text{ м}^2$  площади водонагревателя. Уравнение для нахождения временной зависимости температуры без МФП будет следующим:

$$D_{\max} \int_0^t \sin(\alpha(t)) dt = \Delta T(t) \sum m_i C_i \quad 4)$$

где  $D_{\max}$  – максимальная выработка тепла при пике (зените) солнечной активности.



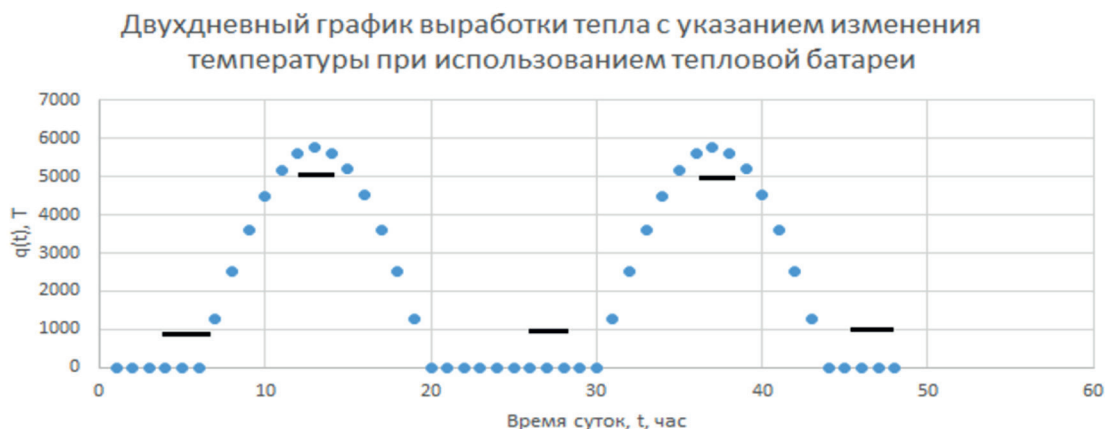
**Рисунок 4.** Модель синусоидального вида скорости выработки тепла в течении светового дня.

Решением данного уравнения будет также тригонометрическая функция. Таким образом, температурная кривая повторяет ход временной скорости выработки тепла с некоторым временем задержки  $\tau$ . В общем виде, для каждой точки термо-

динамического равновесия следует учитывать теплоемкость основного теплоносителя, теплоемкость РСМ материала вне фазового перехода и энтальпию фазового перехода:

$$Q = \int_0^t q(t) dt = m_0 c_0 \Delta T(t) + m_{\text{PCM}} c_{\text{PCM}} \Delta T(t) + H_{\text{PCM}} m_{\text{PCM}} \quad 5)$$





**Рисунок 5.** Модель двухдневного графика выработки тепла с указанием температуры при использовании тепловой батареи.

Использование тепловой батареи в составе основного теплоносителя приводит к изменениям итоговой температуры:

За счет инертности РСМ-материала температура не повторяет ход изменения выработки тепла, что приводит к смещению и уширению максимума при прямом и обратном фазовом переходе (рис.5).

### Выводы

Таким образом, для теплового баланса в системах, где присутствуют материалы с изменяемой фазой (агрегатным состоянием), следует учитывать что:

1. РСМ материалы играют существенную роль уже при  $m_{PCM} \geq 0,05m_0$  и могут поглощать и выделять теплоту в объеме более 20% от общей накопленной теплоты в течении дня.

2. Теплопоглощение при прямом проходе точки фазового перехода (тепловыделение при обратном процессе) приводит к временной стабилизации температуры в точке фазового перехода, что приводит к уширению формы температурной кривой. Анализ следует проводить для двух и более циклов солнечного дня.

3. Тщательный учет временной зависимости температуры для нелинейных тер-

модинамических систем какими являются солнечные водонагреватели с тепловыми батареями позволяет их более оптимально использовать.

### Литература

1. Nazir, H. et al. Recent developments in phase change materials for energy storage applications: A review. *Int. J. Heat Mass Transf.* 129, 491–523 (2019).
2. Singh, R., Sadeghi, S. & Shabani, B. Thermal Conductivity Enhancement of Phase Change Materials for Low-Temperature Thermal Energy Storage Applications. *Energies* 12, 75 (2018).
3. Kuta, M., Matuszewska, D. & Wójcik, T. M. The role of phase change materials for the sustainable energy. *E3S Web Conf.* 10, 00068 (2016).
4. Mofijur, M. et al. Phase Change Materials (PCM) for Solar Energy Usages and Storage: An Overview. *Energies* 12, 3167 (2019).
5. <http://www.pcmproducts.net>.
6. <https://www.insolcorp.com/for-home>.
7. Saeed Samadzadeh Baghbani et al. *International Journal of Energy and Environmental Engineering* (2022) 13:135–152.
8. Abdullah Bareen et al. *Environmental Science and Pollution Research* (2024) 31:18209–18225.
9. Kriti Srivastava et al. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* (2024) 149:13053–13070.

## ТАКМИЛ ДОДАНИ ГАРМКУНАКИ ОФТОБИИ ОБ

Саттаров С.А.<sup>1</sup>, Бахриев С.Х.<sup>2,\*</sup><sup>1</sup>Донишгоҳи давлатии Самарқанд ба номи Ш.Р. Рашидов<sup>2</sup>Институту масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

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

**Аннотация.** тағйирёбии ҳарорат дар системаи гармии гармкунакҳои офтобии об, ки дорои маводҳои тағйирёбандаи фаза (МТФ) дар шароити гуногуни таъминоти гармӣ мебошанд, ҳисоб карда шудааст. Тағйирёбии ҳарорат бо назардошти иқтидори гармии моеъҳои интиқоли гармии аввалия ва дуюмдараҷа ва гармии ниҳони гузариши фаза таҳлил карда шудааст. Вобастагии ҳарорат барои системаҳои офтобӣ бо назардошти тағйирёбии ҳаррӯзаи кунҷи офтоб ҳисоб карда шудааст. Хулосаҳо оид ба истифодаи натиҷаҳо пешниҳод карда шудаанд.

**Калидвожаҳо:** маводҳои МТФ, энталпия, гармии ниҳони ғудохташавӣ, ҳарорати гузариши фаза.

## IMPROVING THE PERFORMANCE OF SOLAR WATER HEATERS

Sattarov S.A.<sup>1</sup>, Bakhriev S.Kh.<sup>2,\*</sup><sup>1</sup>Samarkand State University named after Sh.R.Rashidova<sup>2</sup>Institute of water problems, hydropower and ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan

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

**Abstract.** This article calculates the temperature change of a thermal system containing phase change materials (PCM) under different heat supply conditions. The analysis of temperature change is carried out taking into account the heat capacity of the main and additional heat carrier and the latent heat of the phase transition. The temperature dependence is estimated for solar systems taking into account the daily change in the angle of inclination of the sun. conclusions on the use of the results are presented.

**Keywords:** PCM materials, Enthalpy, latent heat of fusion, phase transition temperature.

**Маълумот дар бораи муаллифони:** Саттаров С.А. – номзоди илмҳои физ-мат, профессор, академики академияи муҳандисии Ҷумҳурии Тоҷикистон, Донишгоҳи давлатии Самарқанд, Маркази квантии Самарқанд, почтаи электронӣ: jizpi\_sattarov@list.ru; Бахриев С.Х. - доктори илмҳо (АБТ), профессор, академики академияи муҳандисии Ҷумҳурии Тоҷикистон, узви вобастаи Академияи байналмилалӣ муҳандисӣ, ходими шоистаи илм ва техникаи Академияи табиатшиносии Руссия, ходими пешбари илмӣ, Институту масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон почтаи электронӣ: bahriev@mail.ru;

**Сведения об авторах:** Саттаров С.А. - к.ф.-м., профессор, академик ИА РТ, Самаркандский государственный университет, Самаркандский квантовый центр, e-mail: jizpi\_sattarov@list.ru Бахриев С.Х.- д.н.(МАЕ), профессор, академик ИА РТ, член-корр. Международной ИА, заслуженный деятель науки техники РАН (РФ), ведущий научный сотрудник, Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана e-mail: bahriev@mail.ru;

**Information about the authors:** Sattarov S.A. - , professor, academician of the Engineering Academy of the Republic of Tatarstan, Samarkand State University, Director of Samarkand Quantum Center, e-mail: jizpi\_sattarov@list.ru; Bahriev S.H. - Doctor of Sciences (IANS), professor, academician of the Engineering Academy of the Republic of Tatarstan, Corresponding Member of the International Engineering Academy, Honored Scientist of Science and Technique of the Russian Academy of Natural Science, leading research fellow, Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan e-mail: bahriev@mail.ru.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА (ПСК) В СОСТАВЕ СОЛНЕЧНОЙ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ (СВУ), СНАБЖЁННОЙ МАГНИТНЫМИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ

Зарипов Дж.А.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Таджикский технический университет им. акад. М. С. Осими

\*Автор-корреспондент. E-mail: jz - 1972 @ mail.ru.

**Аннотация.** Коэффициент полезного действия теплообменников во многом определяется эффективностью процессов теплоотдачи, что в свою очередь тесно связано с теплофизическими параметрами используемых теплоносителей. В последнее время различными исследователями всё большее внимание уделяется использованию магнитных жидкостей – жидкостей, в которые помещаются мелкодисперсные порошки, обладающие магнитными свойствами.

**Ключевые слова:** температура, теплоёмкости, теплопроводность, время, вода, пероксид водорода.

### Введение

Для использования в качестве теплоносителя в различных теплообменниках (например, в солнечных коллекторах) в последнее время часто предлагаются водные растворы пероксида водорода или этиленгликоля.

Для получения горячей воды и использования её в бытовых и промышленных целях при современном развитии техники в зонах, богатых солнечной энергией, часто предлагается использовать солнечные коллекторы.

Для исследовательских или проектных работ по анализу и выбору схем, конструкций коллектора необходимо создание математических моделей процессов, происходящих во время его работы [1].

Математическое моделирование значительно сокращает временные и материальные затраты на получение основных параметров работы устройств [1, 2, 3, 4].

**Методы исследования.** Для получения горячей воды и использования её в бытовых и промышленных целях при современном развитии техники в зонах, богатых солнечной энергией часто предлагается использовать солнечные коллекторы.

Для исследовательских или проектных работ по анализу и выбору схем, конструкций коллектора необходимо создание математических моделей процессов, происходящих во время его работы. Математическое моделирование значительно сокращает временные и материальные затраты на получение основных параметров работы устройств [1, 3, 4].

Схема солнечных коллекторов [5] представлена на рисунке 1.

Теплоноситель нагревается в солнечном коллекторе энергией солнца и отдаёт затем тепловую энергию воде [6]. К коллектору присоединён дублер, использующийся в пасмурные дни при понижении температуры теплоносителя, (используется нагреватель от электрической сети). Математическое моделирование простейших солнечных водонагревательных установок уже используется в регионах Таджикистана [6, 7, 8].

Эффективность солнечного плоского коллектора вычисляется по уравнениям [9, 10]:

$$\eta = \frac{mc_p(T_0 - T_i)}{I_T A_c} \quad 1)$$

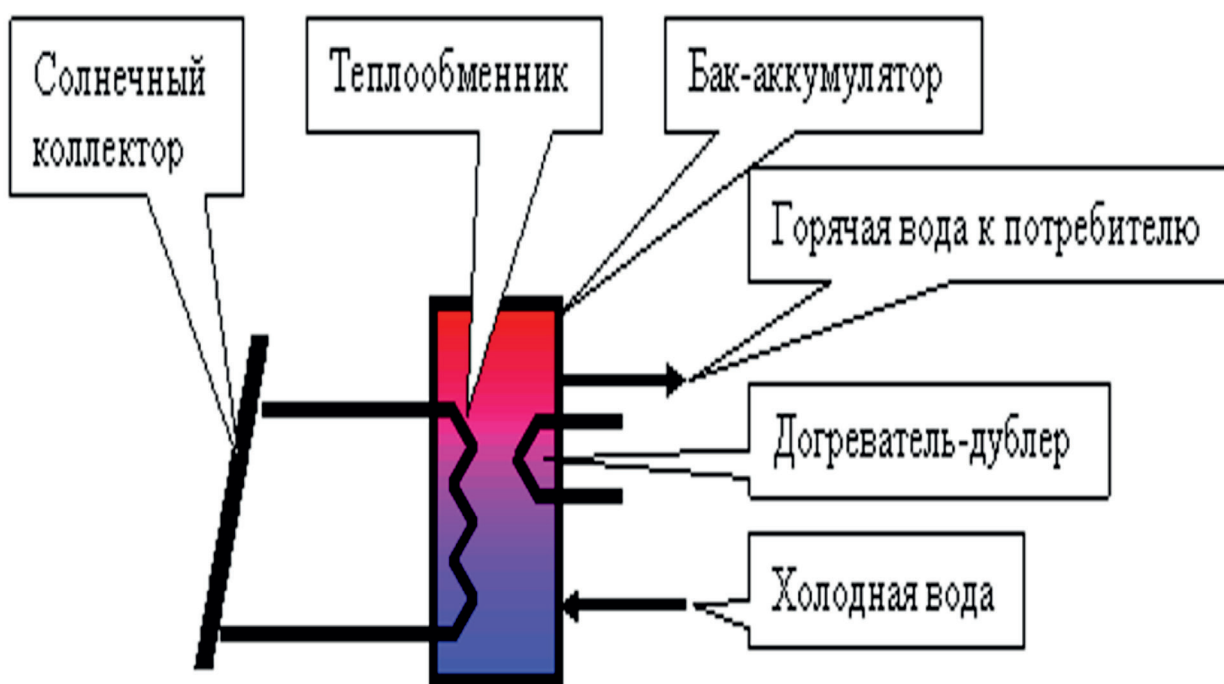


Рисунок 1. Схема круглогодичной солнечной водонагревательной установки (СВУ) [4, 5, 6].

где:  $I$  – поток мощности на поверхности земли (устанавливается в программе), Вт/м<sup>2</sup>;

$A$  – площадь поверхности солнечного коллектора (устанавливается самостоятельно при вычислениях), см<sup>2</sup>;

$m$  – расход насоса для коллектора л/ч;

$C_p$  – удельная теплоёмкость воды Дж/(кг К);

$\eta$  – КПД солнечного плоского водонагревательного коллектора (спвк), %;

$T_i$  – температура входной воды °С;

$T_o$  – температура выхода плоского солнечного коллектора (пск) °С.

На начальном этапе проведены расчёты с использованием программы «SUNMEDIA» (рис. 1) для солнечного коллектора с параметрами:

$I = 600$  Вт/м<sup>2</sup>,  $A = 10000$  см<sup>2</sup>,  $m = 70$

л/ч,  $C_p = 4200$  Дж/(кг К),  $T_i = 43,7^\circ\text{C}$ ,  $T_o = 47,8^\circ\text{C}$ .

В данном случае КПД солнечного коллектора получается, = 52,3%.

Для уточнения ситуации была вычислена эффективность солнечного коллектора с учётом теплоносителя (перекиси водорода + магнитного порошка) [10]:

В работе вычислена температуропроводность теплоносителя: (фор. 2)

$$c_p = \frac{\lambda}{a\rho}, \quad 2)$$

где  $a$  – температуропроводность теплоносителя, м<sup>2</sup>/с;  $\lambda$  – теплопроводность теплоносителя, Вт/(м<sup>2</sup>\*К);  $c_p$  – удельная теплоёмкость теплоносителя, Дж/(кг К);  $\rho$  – плотность теплоносителя, кг/м<sup>3</sup>) [11]:.



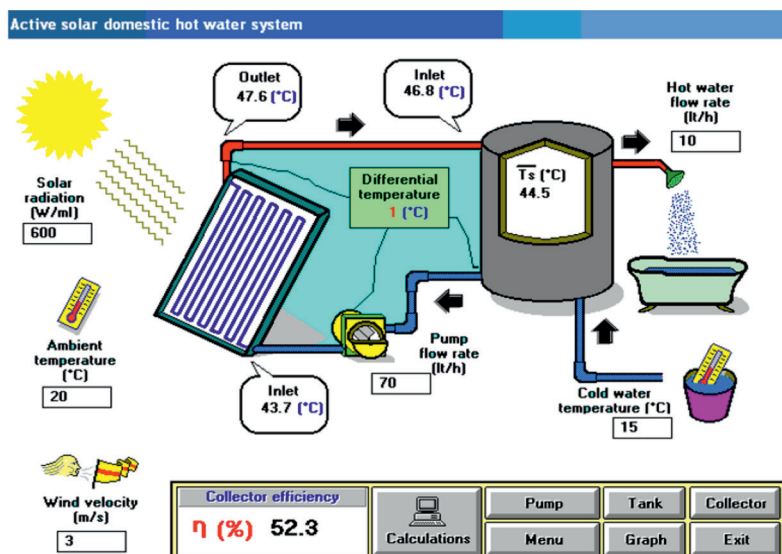


Рисунок 2. Интерфейс программы «SUNMEDIA»

Подставляя соотношение (1) в (2) получаем

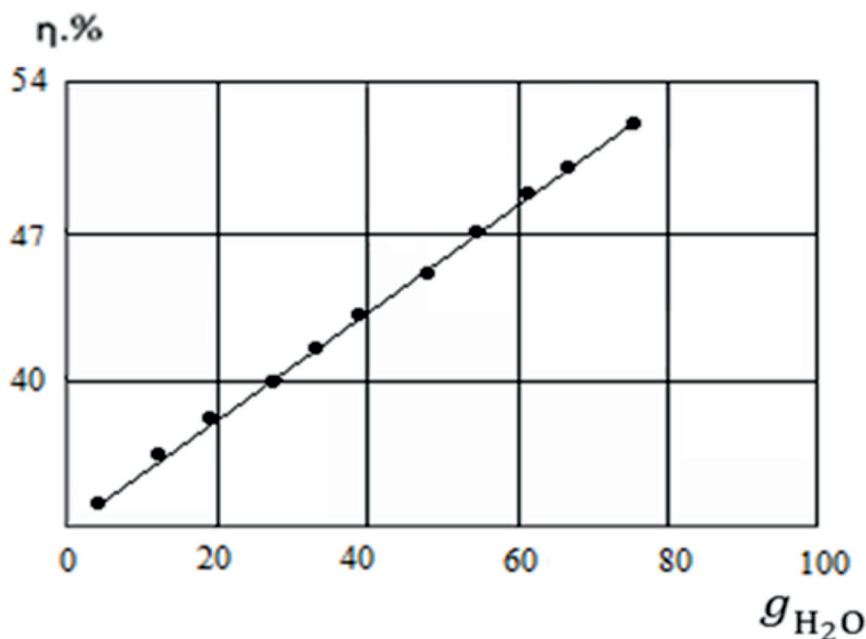
$$\eta = \frac{m\lambda(T_0 - T_i)}{a\rho I_T A_c} \quad (3)$$

Используя уравнение (3) для теплоносителей системы (пероксид водорода +

вода) и (этиленгликоль + перекись водорода) в концентрации от 10 до 90 % была рассчитана эффективность коллектора, которая приведена в таблицах 1.1 – 1.2. [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16].

Таблица 1.1. Зависимость эффективности солнечного двухконтурного коллектора от концентрации перексид водорода + вода

n, %	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\eta$ , %	36,9	38,9	41,0	43,1	45,2	47,3	50,7	51,4	53,5



Данные, приведённые в таблице 1.1. иллюстрированы в графическом виде рисунке 3.

Рисунок 3. Зависимость эффективности солнечного двухконтурного коллектора от концентрации пероксида водорода

## Результаты исследования и обсуждение

Таблица 1.2. Зависимость эффективности солнечного двухконтурного коллектора от концентрации пероксида водорода (этиленгликоль + пероксид водорода)

n, %	5	10	20	30	40	50	60	70	90
$\eta$ , %	18	38,2	42,5	43,1	44,20	47,3	53,6	54	60

Данные, приведённые в таблице 1.2. иллюстрированы в графическом виде рисунке 4.

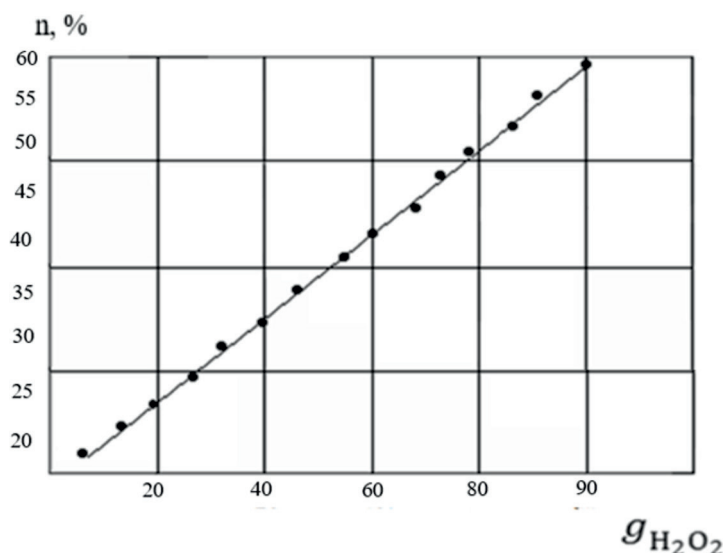


Рисунок 4. Зависимость эффективности солнечного двухконтурного коллектора от концентрации этиленгликоль (в этиленгликоль добавлен пероксид водорода)

Как видно из графика на рисунке 4, с добавлением концентрации пероксида водорода в этиленгликоль, эффективность солнечного двухконтурного коллектора увеличивается. КПД солнечного двухконтурного коллектора увеличивается с 18% до 60%.

Результаты моделирования по расчёту эффективности солнечного коллектора программой «SUNMEDIA», разработанной проф. Петруса Акасаполиусом (Греция), удовлетворительно совпадают с результатами экспериментальных исследований.

## Выводы

1. Показано влияние концентрации пероксида водорода на изменение физико-химических и термодинамических свойств теплоносителей, приводящих к изменению эффективности солнечных двухконтурных коллекторов.

2. Для расчёта эффективности солнечных двухконтурных коллекторов с учётом нового поколения теплоносителя (этиленгликоль + вода, пероксид водорода + вода) использована программа на ЭВМ «Sun media». Рассчитан коэффициент полезного действия солнечных двухконтурных коллекторов. Установлено влияние концентрации воды и пероксида водорода на изменение эффективности солнечных коллекторов.

3. При обработке и обобщении экспериментальных данных по физико-химическим, термодинамическим свойствам, а также изменении адиабатической температуры получен ряд эмпирических уравнений, позволяющих рассчитать вышеперечисленные характеристики в зависимости от температуры, давления индукции магнитного поля.

4. Результаты расчёта эффективности солнечного коллектора программой «SUNMEDIA», разработанной проф. Петруса Акасаполиуса (Греция), удовлетворительно совпадают с результатами экспериментальных исследований. С добавлением концентрации пероксида водорода в этиленгликоль, эффективность солнечного двухконтурного коллектора увеличивается, КПД увеличивается с 18% до 60%.

### Литература

1. Математическое моделирование теплообмена в системе «Солнечных коллекторов» с учетом теплофизических свойств теплоносителей / Дж. А. Зарипов [и др.] // Материалы Республик. науч.-техн. конф. «Перспективы энергетики Таджикистана», Душанбе, 23 дек. 2011.. – С. 19 – 24.
2. Диканский, Ю. И. Магнитная восприимчивость и электропроводность магнитной жидкости при наличии структурных образований / Ю. И. Диканский, В. М. Кожевников, В. В. Чеканов // Физические свойства магнитных жидкостей: сб. науч. тр. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. – С. 28 – 33.
3. Деденко, Л. Г. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента // Л. Г. Деденко, В. В. Керженцев. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1977. – 112 с.
4. Теплотехнический справочник: в 2 т. – М: Энергия, 1976. – Т. 2. – 896 с.
5. [www.Solarhome.ru](http://www.Solarhome.ru)
6. Власов, Д. В. Оценка погрешности измерения высоко градиентных температурных полей термопарой с неточным спаем / Д. В. Власов, Д. А. Казенин, Н. А. Колесникова // Повышение эффективности теплофизических исследований технологических процессов промышленного производства и их метрологического обеспечения: 2 Междунар. теплофиз. шк., 25–30 сент. 1995: тез. докл. – Тамбов: ТГТУ, 1995. – С. 248.
7. Температурные измерения: справочник / Ю.А. Геращенко [и др.] – Киев: Наук. думка, 1984. – 495 с.
8. Сирота, А. М. Экспериментальное исследование максимумов теплопроводности воды в критической области. / А. М Сирота, В. Н. Латунин, Г. М. Беляева // Теплоэнергетика. – 1976. – №1. – С.61; №6. – С. 70 – 76.
9. Оптимизация процесса теплопереноса в солнечных коллекторах открытого типа с учетом изменения теплофизические и оптических свойств теплоносителей. / М. М. Сафаров [и др.] // Проблемы тепломассобмена и гидродинамики в энергомашиностроении: материалы докл. 7-ой шк.- семинара молодых ученых и специалистов акад. РАН В. Е Алемасова, Казань 15 – 17 сент. 2010 г. – Казань, 2010. – С. 120 – 123.
10. Прогнозирование и оптимизация эффективности солнечных коллекторов открытого типа с учетом теплоёмкости теплоносителя и климатических условий Республики Таджикистан / М. М Сафаров [и др.] – Махачкала, 21–22 ноября 2010. – Махачкала, 2010. – С. 387 – 390.
11. Тимрот, Д. Л. Теплопроводность воды при высоких температурах / Д. Л Тимрот, Н. Б. Варгафтик / / Журн. техн. физ. – 1940. – Т. 10, №3. – С. 1063.
12. Берналь, Дж. Структура воды и в ионных растворах / Дж Берналь, Р. Фаулер // Успехи физ. наук. –1934. – Т. 14, вып. 5. – С. 586–644.
13. Самойлов, О. Я. Структура водных растворов электролитов и гидратации ионов / О. Я Самойлов – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 182с.
14. Зарипов, Дж. А. Термограммы перекиси водорода и сажи. / Дж. А. Зарипов, М. М. Сафаров // Вестн. ТГУ. – 2010. – С. 123–125.
15. Назначение, компоненты, структуры, исследование и прогнозирование теплофизических свойств наноструктурных композиционных материалов и их растворов. / Ш. А. Аминов [и др.] // Вестн. Таджик. нац. ун – та. – 2011. – № 1 (65). – С. 63–68.
16. Еськов А.В. Влияние внешнего магнитного поля на теплофизические параметры магнитных жидкостей на основе водных растворов пероксид водорода или этиленгликоля со смесью порошков манганита лантана и тонера для принтеров / Еськов А.В., Зарипов Дж.А. // Сб. науч. трудов по мат-лам Междунар. науч.-практ. конф. «Образование и наука: современное состояние и перспективы развития». Часть 5. Тамбов, ООО «Консалтинговая компания Юком» 2014. – С. 58-59.

## ОМЎЗИШИ САМАРАНОКИИ КОЛЛЕКТОРИ ОФТОБИИ ХАМВАР (КОҲ) ДАР ГУРУҲИ АГРЕГАТИ ДАСТГОҲИ ОБГАРМКУНАНДАИ ОФТОБӢ (ДОО), КИ БО ГАРМИДИҲАНДАИ МАГНИТӢ МУҶАҲҲАЗ ШУДААСТ

Зарипов Ҷ.А.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи ак.М.С.Осимӣ

\*Муаллифи масъул: E-mail: jz-1972@mail.ru.

**Шарҳи мухтасар.** Самаранокии гармидиҳандаҳо асосан бо равандҳои гармигузаронӣ муайян карда мешаванд, ки дар навбати худ бо параметрҳои гармидиҳӣ зич алоқамандӣ дорад. Дар вақтҳои охир тадқиқотчиёни гуногун ба истифодаи моеъҳои магнитӣ — моеъҳои, ки дар онҳо хокаҳои майдаи дорои хосиятҳои магнитӣ ҷойгир карда шудаанд, беиштар диққат медиҳанд.

**Калидвожаҳо:** ҳарорат, гармигунҷоии, гармигузаронӣ, вақт, об, пероксиди гидроген.

## STUDY OF THE EFFICIENCY OF A FLAT SOLAR COLLECTOR (FSC) AS PART OF A SOLAR WATER HEATING UNIT (SWU) EQUIPPED WITH MAGNETIC COOLANTS

Zaripov J.A.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi

\*Corresponding author. E-mail: jz - 1972 @ mail.ru.

**Abstract.** The efficiency of heat exchangers is largely determined by the efficiency of heat transfer processes, which in turn is closely related to the thermophysical parameters of the heat carriers used. Recently, various researchers have been paying increasing attention to the use of magnetic liquids - liquids in which fine powders with magnetic properties are placed.

**Key words:** temperature, heat capacity, thermal conductivity, time, water, hydrogen peroxide.

**Маълумот оид ба муаллиф.** Зарипов Ҷамшед Абдусаломович. Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи ак. М.С. Осимӣ. номзади илмҳои техникӣ, дотсент, . ш. Душанбе. Факултети энергетика, кафедраи техника ва энергетикаи гармо - и Донишгоҳи техникии Тоҷикистон, тел. (+92) 919623326, E-mail jz - 1972 @ mail.ru.

**Сведения об авторе.** Зарипов Ҷамшед Абдусаломович. Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими. кандидат технических наук, доцент. г. Душанбе. Энергетический факультет, кафедра техники и теплоэнергетики. Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими. тел. (+92) 919623326, E-mail: jz - 1972 @ mail.ru.

**Information about the author.** Zaripov Jamshed Abdusalomovich. Tajik Technical University named after ak. M.S. Osimi. candidate of Technical Sciences, professor. Dushanbe. Faculty of Power Engineering, Department of Technology and Heat Power Engineering, Tajik Technical University, tel. (+92) 919623326, E-mail jz - 1972 @ mail.ru.



УДК 662.76:502.17(575.3)

## ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БИОВОДОРОДА: ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН В КОНТЕКСТЕ ПЕРЕХОДА НА «ЗЕЛЕНУЮ» ЭНЕРГИЮ

Абдусамиев Ф.Т.<sup>1</sup>, Бахриев С.Х.<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина

<sup>2</sup>Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана

\*Автор корреспонденции. E-mail: bahriev@mail.ru

**Аннотация.** в данной статье рассматриваются современные технологии производства биоводорода как ключевого элемента низкоуглеродной энергетики. Проведен анализ ресурсного потенциала Республики Таджикистан для организации производства биоводорода и биометана. Особое внимание уделяется соответствию данного направления стратегической цели, обозначенной Президентом Республики Таджикистан Э. Ш. Рахмоном, – полному переходу страны на «зеленую» энергию к 2030 году. Предложены конкретные пути и этапы реализации пилотных проектов, основанные на использовании местных возобновляемых ресурсов.

**Ключевые слова:** биоводород, биометан, зеленая энергетика, анаэробное дигерирование, фотоферментация, Республика Таджикистан, возобновляемые источники энергии, водородная экономика.

### Введение

Глобальный энергетический переход и ужесточение экологических требований обуславливают необходимость поиска и внедрения альтернативных, устойчивых источников энергии. Среди них водород, особенно «зеленый», производимый с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), занимает одно из центральных мест. Однако традиционное электролитическое получение «зеленого» водорода требует значительных затрат электроэнергии. В этом контексте биотехнологические методы производства водорода – биоводорода – представляют собой высокоперспективное направление, позволяющее утилизировать органические отходы и одновременно производить энергоноситель.

Для Республики Таджикистан, обладающей огромным гидроэнергетическим потенциалом и аграрным сектором, развитие водородной энергетики открывает новые возможности. Инициатива Президента страны Э. Ш. Рахмона о переводе Таджикистана на 100% «зеленую» энергию к 2030 году [1] требует не только модернизации существующей энергосистемы, но и диверсификации производства

энергоносителей. Производство биоводорода и биометана идеально вписывается в данную стратегию, позволяя создать замкнутые энерготехнологические циклы и решить проблему органических отходов.

### 1. Технологии производства биоводорода: обзор и перспективы

Биоводород – это водород, полученный в результате биохимических процессов с участием микроорганизмов. Основные технологические пути его производства включают:

**Биофотолиз воды:** Использование микроскопических зеленых водорослей (например, *Chlamydomonas reinhardtii*) и цианобактерий для расщепления воды под действием солнечного света. Процесс эффективен, но требует больших площадей и контроля условий культивирования.

**Фотоферментация:** Процесс, осуществляемый фототрофными бактериями (пурпурными несерными бактериями), которые способны преобразовывать органические кислоты в водород и CO<sub>2</sub> под воздействием света. Данный метод позволяет использовать широкий спектр органических субстратов, включая отходы пищевой и сельскохозяйственной промышленности.

Темновая ферментация: Анаэробное разложение органических субстратов (углеводов) гетеротрофными бактериями в отсутствие света. Этот процесс менее эффективен по выходу водорода, но про-

ще в управлении и может служить первой стадией в двухступенчатых системах, где вторым этапом является метаногенез или фотоферментация для переработки образовавшихся летучих жирных кислот.

**Таблица 1.** Уровень развития водородной энергетики по странам мира

Страна	Уровень развития	Описание	Примерные показатели
Германия	Высокий	Лидирует в Европе, инвестиции в инфраструктуру, крупные проекты, государственная поддержка	Выпускает водородные электролизеры, строит водородные хабы
Япония	Высокий	Развитая водородная стратегия, активное внедрение в транспорт и промышленность	Сети заправок, пилотные проекты, государственная поддержка
Южная Корея	Средний	Продвигает развитие водородных технологий, но еще не в полной мере реализованы крупные проекты	Производство водородных топливных элементов
США	Средний/высокий (зависит от штата)	Расширение инфраструктуры, частные инвестиции, правительственные инициативы	Различные федеральные и штатские программы
Китай	Средний	Стремительно развивающаяся отрасль, стратегические планы, крупные инвестиции	Производство водородных автомобилей, инфраструктура
Австралия	Средний	Развитие через использование ресурсов для производства водорода, экспорт	Экспорт водорода, построение заводов по его производству
Россия	Начальный/средний	На ранней стадии, есть потенциал благодаря богатым ресурсам, но недостаточно инфраструктуры	Исследовательские проекты, планы развития

### Методология

Наиболее технологически готовым и коммерчески применимым для условий Таджикистана является метод интегрированного подхода, сочетающий производство биометана и биоводорода. Классическая схема анаэробного дигерирования для получения биометана может быть модернизирована. На первой стадии (кислотогенез и ацетогенез) создаются условия, благоприятные для производства водорода, после чего оставшиеся органические соединения направляются на вторую стадию – метаногенез. Альтернативно, био-

метан может быть преобразован в водород путем паровой конверсии биометана с последующим улавливанием CO<sub>2</sub> (так называемый «биоводород с улавливанием углерода»).

## 2. Потенциал и возможности реализации в Республике Таджикистан.

Республика Таджикистан обладает уникальным сочетанием ресурсов для развития проектов по производству биометана и биоводорода.

### 2.1. Ресурсная база:

#### Сельскохозяйственные отходы:

Аграрный сектор производит огром-

ное количество биомассы – отходы хлопчатника, виноградной лозы, садоводства, овощеводства, а также навоз от животноводческих комплексов, промышленные отходы перерабатывающих предприятий, органические составляющие ТБО, помёт из птицеферм. Эта биомасса является идеальным сырьем для анаэробных биореакторов.

### **Гидроэнергетика:**

Таджикистан лидер в Центральной Азии по производству гидроэлектроэнергии. Избыточная, особенно в весенне-летний период, электроэнергия ГЭС может быть использована для питания электролизеров, а также для обеспечения работы биотехнологических комплексов (насосы, система контроля, освещение), что делает конечный продукт – биоводород – стопроцентно «зеленым».

**Солнечная энергия:** Высокий уровень инсоляции (300 солнечных дней в году) позволяет эффективно применять фото-ферментационные технологии, а также использовать солнечные панели для энергоснабжения установок.

## **2.2. Стратегические и экологические преимущества:**

### **Достижение энергетической независимости:**

Развитие собственного производства биометана и биоводорода снизит зависимость от импорта ископаемого топлива (природного газа, бензина).

### **Решение экологических проблем:**

Утилизация органических отходов позволит сократить объемы свалок, снизить выбросы метана в атмосферу и решить проблему загрязнения водных ресурсов стоками сельскохозяйственных предприятий. Избавление от неприятного запаха жителей близлежащих населенных пунктов и достижение цикличной экономики с одновременным снижением нагрузки на электрические и газопроводные сети. Обеспечение биогазом предприятий и населения.

### **Создание «зеленого» экспорта:**

В перспективе Таджикистан может позиционировать себя как экспортер «зеленого» водорода и его производных (аммиака, метанола) на мировой рынок, следуя глобальному тренду декарбонизации.

### **3. Пути реализации проекта**

Реализацию масштабного проекта по производству биометана и биоводорода в Таджикистане целесообразно разделить на этапы:

#### **Этап 1: Пилотный проект (2025-2027 гг.)**

**Цель:** Апробация технологий и создание демонстрационной зоны.

#### **Мероприятия:**

1. Выбор локации (например, крупный животноводческий комплекс или хлопко перерабатывающее предприятие в Хатлонской или Согдийской областях).
2. Строительство пилотной установки анаэробного сбраживания мощностью переработки ~10 тонн отходов в сутки.
3. Интеграция в процесс модуля темновой ферментации для производства биоводорода и модуля очистки биометана до стандартов природного газа (Bio-CNG).
4. Использование полученного биометана для заправки сельхозтехники и коммунального транспорта, а биоводорода – для работы топливных элементов для энергоснабжения самого комплекса.

#### **Этап 2: Масштабирование и создание кластеров (2027-2030 гг.)**

**Цель:** Создание региональных биогазовых кластеров.

#### **Мероприятия:**

1. Тиражирование успешного опыта пилотного проекта в других аграрных регионах.
2. Строительство более крупных станций, способных перерабатывать отходы нескольких хозяйств.
3. Развитие инфраструктуры для заправки транспорта биометаном.

4. Исследование возможности подключения очищенного биометана к локальным газораспределительным сетям.

### **Этап 3: Формирование национальной водородной программы (после 2030 г.)**

Цель: Интеграция в глобальную водородную экономику.

Мероприятия:

1. Строительство крупных электрических мощностей, работающих на избыточной гидроэлектроэнергии, для производства «зеленого» водорода.

Почему это логично и взаимовыгодно?

Со стороны Таджикистана:

Огромные гидроресурсы: Таджикистан обладает колоссальным потенциалом гидроэнергетики (второе место в СНГ после России). Реки Вахш и Пяндж позволяют генерировать большое количество электроэнергии, особенно в весенне-летний период.

Проблема «избыточной» энергии: В сезон паводка ГЭС вырабатывают больше энергии, чем может потребить внутренний рынок Таджикистана. Часто эту энергию некуда девать, и она пропадает впустую. Производство водорода — идеальный способ ее монетизации.

Диверсификация экономики: Позволяет выйти за рамки экспорта электроэнергии и алюминия, создавая продукт с высокой добавленной стоимостью — «зеленый» водород.

Привлечение инвестиций: Крупный инфраструктурный проект привлечет российские и, возможно, международные инвестиции.

Со стороны России:

Технологии и компетенции: Россия обладает передовыми технологиями в области электролиза, производства водорода и его логистики (включая опыт в химической и газовой отраслях). Компании вроде «Росатом» уже активно развивают водородную энергетику.

Финансовые ресурсы: Россия имеет возможность выступить инвестором и

кредитором для такого масштабного проекта.

Диверсификация экспорта: Для России это шанс закрепиться на формирующемся глобальном рынке «зеленого» водорода, диверсифицировав свой экспорт от традиционных углеводородов.

Стратегическое партнерство: Укрепление экономических и политических связей с одним из ключевых союзников в Центральной Азии.

Ключевые преимущества проекта

Конкурентная стоимость: Электроэнергия от таджикских ГЭС — одна из самых дешевых в мире. Это критически важно для стоимости производства водорода, где до 70% затрат — это электричество.

«Зеленая» сертификация: Водород, произведенный без выбросов CO<sub>2</sub>, будет высоко котироваться на рынках ЕС и Азии, где действуют жесткие требования к углеродному следу.

Синергия: Сочетание природных ресурсов (вода + энергия) Таджикистана и технологических, финансовых и логистических возможностей России.

Потенциальные рынки сбыта

Европейский Союз: Имеет амбициозные планы по импорту «зеленого» водорода в рамках стратегии «Green Deal».

Китай: Активно инвестирует в водородную энергетику для декарбонизации своей промышленности и транспорта.

Другие страны Азии: Япония и Южная Корея видят в водороде основу будущей безуглеродной экономики.

Внутренний рынок России: Для декарбонизации промышленности, например, металлургических комбинатов.

Основные вызовы и риски

Логистика и транспортировка: Водород — сложный в транспортировке газ. Потребуется строительство дорогостоящей инфраструктуры:

Вариант А: Конверсия в аммиак (NH<sub>3</sub>), который проще перевозить. Это



потребуется строительства завода по синтезу аммиака и портовых терминалов.

Вариант Б: Строительство трубопроводов для транспортировки газообразного водорода (долгосрочная и капиталоемкая перспектива).

Капитальные затраты: Строительство электролизных мощностей (гигаваттного масштаба) и сопутствующей инфраструктуры требует миллиардных инвестиций.

Водный вопрос: Электролиз требует больших объемов чистой воды. Необходимо тщательная оценка водных ресурсов, чтобы не создать дефицит в сельском хозяйстве Таджикистана. Возможно использование опреснительных технологий.

Политические и регуляторные риски: Необходимо создать стальную правовую базу, гарантирующую права инвесторов, распределение доходов и налоговые режимы.

Глобальная конкуренция: Проекты по «зеленому» водороду запускаются по всему миру (Ближний Восток, Австралия, Африка). Важно обеспечить конкурентоспособность по цене.

Возможные шаги по реализации

Создание рабочей группы: Формирование совместной российско-таджикской рабочей группы для проработки концепции.

Технико-экономическое обоснование (ТЭО): Проведение детального ТЭО, включая:

- Выбор оптимального местоположения (близко к ГЭС и источникам воды).

- Оценка объема избыточной энергии и потенциала производства.

- Анализ вариантов транспортировки и рынков сбыта.

- Расчет стоимости проекта и сроков окупаемости.

Привлечение ключевых игроков:

С российской стороны: «Росатом» (как интегратор водородных проектов), «Газпром» (логистика газа), РОСНАНО (технологии).

С таджикской стороны: Министерство энергетики, физико-технический институт, «Барки Точик» (национальная энергокомпания).

Финансовая модель: Разработка модели совместного предприятия, привлечение финансирования от государственных институтов развития (ВЭБ.РФ, например) и частных инвесторов.

Решение инфраструктурных вопросов: Параллельно с основным проектом начать проработку строительства необходимой транспортной и экспортной инфраструктуры.

Несмотря на серьезные вызовы, прежде всего логистические и финансовые, глобальный спрос на «зеленый» водород и уникальное сочетание дешевой энергии и технологий делают этот проект одним из самых перспективных направлений для российско-таджикского сотрудничества в сфере энергетики.

2. Комбинирование биотехнологических и электролизных методов для максимизации выпуска продукции.

Конкретные примеры максимизации выпуска с использованием технологий РФ

Пример 1: Производство кормового белка и кислорода на ГЭС.

Локация: Малая ГЭС в Сибири.

Технологии РФ:

Электролизер "РусГидро" или "НИИ-ЭХ" (например, щелочные или PEM-электролизеры).

Биореактор с штаммом *Cupriavidus necator* B-10646, разработанным в ГНЦ ВБ "Вектор" или ИБХ РАН.

Процесс: Дешевая электроэнергия ГЭС → Электролиз →  $H_2 + O_2$ .

$H_2 + CO_2$  (из воздуха или от сжигания биогаза) → кормовой белок (БОС) в биореакторе.

$O_2$  → продается на близлежащие промышленные предприятия (металлургия, медицина) или используется для обогащения воды в рыбоводческих хозяйствах.

Водород как источник энергии и восстановитель

Схема: Электролизер производит водород (H<sub>2</sub>). Водород подается в биореактор с аутогенными бактериями (например, *Cupriavidus necator* или водород окисляющими метилотрофами).

Продукция:

Биопластики (ПГБ - полигидроксibuтираты): Бактерии используют H<sub>2</sub> как источник энергии и CO<sub>2</sub> как источник углерода для накопления биоразлагаемых пластиков.

Белок одноклеточный (БОС): Высокобелковая биомасса для кормовых и пищевых добавок.

Биотопливо: Липиды или бутанол, производимые специализированными штаммами.

Высокоценные химикаты: Ферменты, органические кислоты.

Российский контекст: В России ведутся разработки штаммов-продуцентов ПГБ и БОС. Комбинация с электролизом, работающим на дешевой электроэнергии (например, в Сибири), может сделать производство экономически выгодным.

Максимизация: Выходят два продукта (БОС и O<sub>2</sub>), что увеличивает рентабельность.

3. Налаживание международного партнерства для экспорта «зеленого» водорода.

Предложение о совместном строительстве электролизных мощностей в Таджикистане — стратегически верное и экономически обоснованное. Оно позволяет решить проблему утилизации избыточной ВИЭ, создать новый экспортный продукт с высокой добавленной стоимостью и укрепить стратегическое партнерство двух стран.

Несмотря на серьезные вызовы, прежде всего логистические и финансовые, глобальный спрос на «зеленый» водород и уникальное сочетание дешевой энергии и технологий делают этот проект одним

из самых перспективных направлений для российско-таджикского сотрудничества в сфере энергетики.

### Заключение

Технологии производства биоводорода и биометана представляют собой не только научный интерес, но и практический инструмент для достижения амбициозных целей «зеленого» перехода Республики Таджикистан. Обладая значительным ресурсным потенциалом в виде сельскохозяйственных отходов и возобновляемой гидроэнергетики, страна имеет все предпосылки для успешной реализации подобных проектов.

Предложенная инициатива — не просто логична, а стратегически оправдана. Она позволяет:

Таджикистану превратить свой возобновляемый, но нестабильный ресурс в стабильный источник дохода и развития.

России же совершить плавный переход от экспорта ископаемых ресурсов к экспорту высокотехнологичной "зеленой" энергии, используя свой научный и промышленный потенциал.

Это беспроигрышная ситуация, которая создает прочный фундамент для долгосрочного и технологичного сотрудничества между двумя странами на перспективном мировом рынке.

Начало работ пилотных установок, их последующее масштабирование и интеграция в общую стратегию развития ВИЭ позволят Таджикистану не только выполнить требование Главы государства о 100% «зеленой» энергии к 2030 году, но и занять одну из лидирующих позиций в Центрально-азиатском регионе в сфере инновационной водородной энергетики,

### Литература

1. Выступление Президента Республики Таджикистан Э. Ш. Рахмона на совещании по развитию энергетики (2023 г.). – Официальный сайт Президента РТ.
2. Kapdan, I. K., & Kargi, F. Bio-hydrogen production from waste materials. *Enzyme and Microbial Technology*, 38(5), 2006. - 569-582.

3. Abanades, S., Abbaspour, H., Ahmadi, A., et al. (2021). A review of biomass-based hydrogen production technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111413.
4. Государственная программа развития возобновляемой энергетики в Республике Таджикистан на период до 2030 года. – Душанбе. - 2020.
5. Коробкова, Г. В., & Жукова, А. А. (2022). Биотехнология водорода: современное состояние и перспективы. *Вестник Московского университета. Серия 2: Химия*, 63(2), 2022. – С. 95-108.
6. Муссе Смаила Рауфу, Абдусамиев Ф.Т., Бахриев С.Х., Давлатшоев С.К. -Переработка органических отходов и защита окружающей среды от загрязнения в климатических условиях Таджикистана. *Ж. Водные ресурсы, энергетика и экология (ИВП, ГЭ, Э)*, Душанбе: 2024/№4(4). – С.172-175.
7. Абдусамиев Ф.Т., Бахриев С.Х., Парахин Ю.А., Перспективы и возможности применения биогазовых генераторов для переработки органических отходов в Республике Узбекистан: на примере Джизакской области. «Международная научно-практическая конференция» г. Джизак, Джизакский политехнический институт, 5-6 мая, 2025.- С.298-303.
8. Абдусамиев Ф.Т., Муссе С.Р.Бахриев С.Х., Гидролиз целлюлозы в анаэробных условиях при термофильном режиме: теоретические аспекты и экспериментальные исследования. «Международная научно-практическая конференция» г. Джизак, Джизакский политехнический институт, 5-6 мая 2025. – С.303-306.
9. Абдусамиев Ф.Т., Бахриев С.Х., Саттаров С.А.- Применение цифровых технологий в использовании биометана как автомобильного топлива в условиях Согдийской области Республики Таджикистан г.Бустон-2025 г. Сборник статей международной научной конференции. – С.13 – 17.

## ТЕХНОЛОГИЯҲОИ ИСТЕҲСОЛИ БИОГИДРОГЕН: ДУРНАМОИШИ ТАТБИҚ ДАР ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН ДАР ЗАМИНАИ ГУЗАРИШ БА ЭНЕРГИЯИ "САБЗ"

Абдусамиев Ф.Т.<sup>1</sup>, Бахриев С.Х.<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Донишгоҳи давлатии аграрии Орёл ба номи Н.В. Парахин

<sup>2</sup>Институти м.об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

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

**Шарҳи мухтасар.** Дар ин мақола технологияҳои муосири истеҳсоли биогидроген ҳамчун унсурҳои каҷидии энергияи камкарбон баррасӣ мешаванд. Таҳлили потенциали захираҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон ба рои истеҳсоли биогидроген ва биометан пешниҳод шудааст. Таваҷҷӯҳи махсус ба ҳамоҳангсозии ин самт бо ҳадафи стратегии муайянкардаи Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон Э.Ш. Раҳмон: гузариши пурраи кишвар ба энергияи "сабз" то соли 2030. Роҳҳо ва марҳилаҳои мушаххаси татбиқи лоиҳаҳои озмоишӣ, ки ба истифодаи захираҳои маҳаллии барқароршаванда асос ёфтаанд, пешниҳод шудаанд.

**Калидвожаҳо:** биогидроген, биометан, энергияи сабз, ҳазми анаэробӣ, фотоферментатсия, Ҷумҳурии Тоҷикистон, манбаъҳои барқароршавандаи энергия, иқтисоди гидроген.

## BIOHYDROGEN PRODUCTION TECHNOLOGIES: IMPLEMENTATION PROSPECTS IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN IN THE CONTEXT OF THE TRANSITION TO "GREEN" ENERGY

Abdusamiyev F.T.<sup>1,\*</sup>, Bakhriev S.Kh.<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>N. V. Parakhin Oryol State Agrarian University

<sup>2</sup>Institute of Water Problems, Hydropower, and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan

\*Corresponding author: E-mail: fabdusamiyev@inbox.ru

**Abstract.** this article examines modern biohydrogen production technologies as a key element of low-carbon energy. An analysis of the resource potential of the Republic of Tajikistan for the production of biohydrogen and biomethane is provided. Particular attention is paid to the alignment of this area with the strategic goal outlined by the President of the Republic of Tajikistan, E.Sh. Rahmon: the country's complete transition to "green" energy by 2030. Specific paths and stages for implementing pilot projects based on the use of local renewable resources are proposed.

**Keywords:** biohydrogen, biomethane, green energy, anaerobic digestion, photofermentation, Republic of Tajikistan, renewable energy sources, hydrogen economy.

**Маълумот дар бораи муаллиф:** Абдусамиев Фазлидин Тоҷидинович- номзади илмҳои техники, Донишгоҳи аграрии давлатии Орёл, мудири шӯбаи хориҷӣ, тел.: +79102030015, E-mail: fabdusamiev@inbox.ru; Баҳриев Сӯҳбатҷон Ҳусейнович – академики Академияи муҳандисии Ҷумҳурии Тоҷикистон, узви вобастаи АМБ, ходими хизматнишондодаи илм ва техникаи АТР (ФР), доктори илми АБТ, профессор, ходими пешбари илми Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, E-mail: bahriev@mail.ru, тел.: +992 555554648;

**Сведения об авторах:** Абдусамиев Фазлидин Таджидинович- кандидат технических наук, Орловский государственный университет (РФ) зав. иностранным отделом, тел.: +79102030015, E-mail: fabdusamiev@inbox.ru; Баҳриев Сухбатджон Ҳусейнович – академик Инженерной академии Республики Таджикистан, член-корреспондент Международной инженерной академии, заслуженный деятель науки и техники Российской академии естествознания (РФ), доктор наук МАЕ, профессор, ведущий научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, E-mail: bahriev@mail.ru; тел.: +992555554648;

**Information about the authors:** Abdusamiev Fazlidin Tadjhidinovich - Candidate of Technical Sciences, Oryol State University (RF), Head of the Foreign Department, tel.: +79102030015, E-mail: fabdusamiev@inbox.ru; Bahriev Suhbatjon Huseynovich - Academician of the Institute of Engineering of the Republic of Tajikistan, Corresponding Member of the International Academy of Engineering Sciences, Honored Worker of Science and Technology of the RANH (RF), Honored Scientist and Engineer of the Russian Academy of Education (Russian Federation), Doctor of Sciences of the International Academy of Natural Science, Professor, Leading Researcher of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the Tajik National Academy of Sciences, E-mail: bahriev@mail.ru; tel.: +992555554648;

УДК 621.31

## ОБЗОР СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТАДЖИКИСТАНЕ

Юмаев Н.Р.<sup>1</sup>, Кулулов М.А.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Центр инновационного развития науки и новых технологий Национальной академии наук Таджикистана

\*Автор корреспондент: E-mail: mahmadillokululov@gmail.com

**Аннотация.** Работа посвящена анализу современных технологий хранения электроэнергии. В ней рассматриваются различные системы, используемые для накопления и хранения электрической энергии, даны их характеристики, представлены первые три страны по величине установленной мощности этих систем. В работе представлены сферы применения систем хранения электроэнергии, перспективные технологии накопления энергии для Таджикистана, проблемы внедрения и их перспективы.

**Ключевые слова:** системы накопления электроэнергии, возобновляемая энергетика, аккумулятор, применения систем накопления электроэнергии, гидроаккумулирующие электростанции, аккумуляторные батареи.

### Введение

Современное развитие энергетики характеризуется ростом доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ), что обусловлено необходимостью снижения выбросов парниковых газов, повышения энергетической безопасности и рационального использования природных ресурсов. Вместе с тем широкое внедрение ВИЭ сопровождается рядом технологических вызовов, ключевым из которых

является неравномерность и нестабильность выработки электроэнергии. В этих условиях особую значимость приобретают системы накопления и хранения электроэнергии, позволяющие аккумулировать избыточную энергию и обеспечивать её использование в периоды повышенного спроса или снижения генерации.

Для Таджикистана данная проблема имеет особую актуальность. Энергетическая система страны в значительной



степени базируется на гидроэнергетике, подверженной сезонным колебаниям водности рек, а развитие солнечной и ветровой энергетики усиливает потребность в эффективных механизмах балансирования энергосистемы. Горный рельеф, удалённость отдельных населённых пунктов и ограниченные возможности централизованного энергоснабжения дополнительно повышают роль локальных и распределённых систем хранения энергии.

В этой связи исследование современных технологий накопления электроэнергии, анализ их технических характеристик, сфер применения и перспектив внедрения в условиях Таджикистана представляет значительный научный и практический интерес. Рассмотрение мирового опыта и оценка потенциала различных систем хранения энергии позволяют определить наиболее эффективные направления их использования для повышения устойчивости и надёжности национальной энергосистемы.

#### **Объект и методы исследования**

Объектом исследования являются системы накопления и хранения электроэнергии, применяемые в электроэнергетике, а также возможности их использования в условиях энергетической системы Республики Таджикистан. Предметом исследования выступают технические, эксплуатационные и экономические характеристики различных типов систем накопления энергии, их эффективность, области применения и перспективы внедрения с учётом природно-географических, инфраструктурных и социально-экономических особенностей страны.

В ходе исследования использовались общенаучные и специальные методы. Применялись методы системного и сравнительного анализа для оценки существующих технологий накопления электроэнергии и их классификации по принципу действия. Статистический метод исполь-

зовался при анализе данных о мировых и региональных мощностях систем хранения энергии. Метод обобщения позволил выявить основные тенденции развития технологий накопления электроэнергии и определить наиболее перспективные направления для Таджикистана. Также использовался аналитический метод для оценки сфер применения систем накопления энергии и формирования выводов о целесообразности их внедрения в национальную энергосистему.

#### **Основные результаты и практические значимости**

В последнее время системы накопления электроэнергии привлекают значительный интерес со стороны, как производителей электроэнергии, так и со стороны потребителей электроэнергии. Этот интерес обусловлен несколькими ключевыми факторами, включая растущую долю возобновляемых источников энергии в энергобалансе, необходимость повышения надёжности энергоснабжения и стремление к снижению выбросов парниковых газов. Система накопления электроэнергии – это комплекс устройств и оборудования, который аккумулирует электроэнергию, производимую из различных источников, для хранения и последующего использования при необходимости. Активное развитие возобновляемой энергетики делает системы накопления электроэнергии на основе аккумуляторов все более привлекательными. Нестабильность выработки электроэнергии солнечными батареями и ветрогенераторами является ключевым преимуществом использования таких систем, поскольку аккумуляторы позволяют сглаживать колебания и обеспечивать стабильное электроснабжение. Таким образом, они становятся неотъемлемой частью любой системы возобновляемой энергетики. Различные производители рекомендуют аккумуляторные системы хранения на основе литий-ионных аккумуляторов, больше всего доступных для

использования потребителями. В настоящее время для систем накопления энергии появляется значительное число новых способов и сфер их применения, которые в разной степени важны для разных энергетических систем.

Типы систем накопления электроэнергии: механические накопители, электри-

ческие накопители, электро-химические накопители, термальные накопители, химические накопители [1]. Рассмотрим каждый тип систем хранения энергии.

В табл. 1 приводятся различные типы систем, аккумулирующие электрическую энергию и их КПД [2].

**Таблица 1.** Системы, аккумулирующие электрическую энергию и их КПД

Тип аккумулированной энергии	Система	КПД, %
Механические накопители	1. Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС)	65-85
	2. Гидравлические аккумуляторы	95
	3. Аккумуляторы сжатого воздуха	40-55
	4. Супермаховик (FESS)	85-98
	5. Железнодорожные накопители	68
Электрические накопители	6. Конденсатор	92
	7. Сверхпроводящий индуктивный накопитель	95
Электрохимические накопители	8. Электрохимические аккумуляторы	90-95
	9. Проточные аккумуляторы	65-70
	10. Суперконденсаторы (ионисторы)	90-95
	11. Ультрабатарея	85-90
Термальные накопители	-	90
Химические накопители	12. Водородная энергетика	80
	13. Получение метана	-
Среднеарифметический показатель КПД, %		86,7

**Механические накопители** – это устройства, которые накапливают энергию и отдают её при необходимости. В основе таких систем лежит принцип преобразования энергии: электрическая или другая форма преобразуется в механическую, которая хранится, а затем при необходимости снова преобразуется в электрическую или другую форму.

Некоторые типы механических накопителей энергии:

- Гравитационные. Используют потенциальную энергию, которая переходит в кинетическую при опускании тела, поднятого на высоту;
- Гироскопические. Аккумулируют энергию маховика, который находится во вращении с большой скоростью;

- Накопители, использующие силы упругости. Обладают большой удельной ёмкостью энергии при малых габаритах;
- Накопители на основе сжатого воздуха. Накапливают энергию за счёт упругости сжатого газа, который закачивают в баллон.

**Электрохимические накопители** – это устройства, которые хранят энергию в химической форме за счёт химических реакций. Такие накопители называются электрохимическими аккумуляторами или гальваническими элементами. Принцип работы. Электрохимические накопители состоят из электрохимических ячеек, каждая из которых содержит два электрода — положительный (катод) и отрицательный (анод), разделённые электролитом.

Во время зарядки на электродах происходит химическая реакция, в результате которой ионы или электроны сохраняются внутри накопителя. При разряде накопленная энергия высвобождается, так как химическая реакция меняется на обратную, позволяя ионам или электронам течь обратно через цепь, генерируя электроэнергию.

Некоторые типы электрохимических накопителей энергии:

- Первичные батареи. Неперезаряжаемые накопители, в которых химические реакции необратимы. Предназначены для однократного использования;
- Аккумуляторные системы. Перезаряжаемые устройства, которые могут многократно накапливать и выделять электрическую энергию;
- Накопители на топливных элементах. Преобразуют химическую энергию топлива (например, водорода) в электрическую. Работают непрерывно, пока подаётся топливо.

**Термальные накопители** – это устройства, в котором электричество сохраняется в форме тепла. Принцип работы. Энергия накапливается за счёт химических или физических процессов внутри накопителя. Например, за счёт нагревания, охлаждения жидких или твёрдых тел, плавления. [3] При необходимости накопленное тепло высвобождается обратно в систему.

Некоторые типы термальных накопителей:

- С твёрдым или плавящимся теплоаккумулирующим материалом. Например, базальтовый камень, песок, расплавленная соль.
- Жидкостные. Используют специальные составы, устойчивые к испарению.
- Термохимические. Тепло накапливается и выделяется в результате обратимых химических реакций.

**Химические накопители** – это устройство, которое накапливает энергию в химической форме с помощью химических

реакций. Принцип работы. В химических накопителях энергии используются химические реакции, которые при заряде сохраняют энергию в виде изменений в составе веществ, а при разряде – выделяют её в нужной форме.

Некоторые типы химических накопителей энергии:

- Перезаряжаемые аккумуляторы. Электрохимические устройства, которые накапливают электрическую энергию в форме химической потенциальной энергии.
- Топливные элементы. Преобразуют химическую энергию непосредственно в электрическую.
- Проточные батареи. Аккумулируют химическую энергию в жидких электролитах, которые протекают через внешние резервуары.

Прорыв в области систем накопления электроэнергии сможет стать стимулом к расширению использования возобновляемых источников [4]. Первые три страны по величине установленной мощности систем хранения электроэнергии: Китай – 34,5 ГВт., США – 29,3 ГВт., Германия – 28,2 ГВт.

Согласно оценкам Bloomberg, мощности по хранению электроэнергии в мире возрасли с 9 ГВт. Ч. В 2019 г. До 1095 ГВт. Час. В 2040 г., т. Е. в 122 раза [5].

По оценке агентства Navigant Research, глобальный рынок систем накопления энергии к 2025 году составит 80 млрд. долл. США [6].

К настоящему времени сложилось очень большое разнообразие способов хранения электроэнергии, и почти все они уже конкурентоспособны. Сейчас пока что резко доминирует давно известный способ хранения на гидроаккумулирующих электростанциях (97 % всех мощностей хранения), однако значение этого метода будет стремительно падать в пользу электрохимических вариантов хранения (табл. 2).

**Таблица 2.** Структура мощностей накопления и хранения электрической энергии в мире

Тип мощностей	2017, %	2030, %
Гидроаккумулирующие станции	97	45
Электрохимические промышленные и сетевые	> 1	23
Электрохимические автомобильные	> 1	21
Прочие (термические, соляные, пневматические)	> 1	21

Одним из важнейших является аккумулярование тепла, так как значительную часть мирового потребления энергии составляет использование низкотемпературного тепла для отопления и обеспечения горячей водой [7].

Используемая электрическая энергия отсутствует в природе и вследствие этого она получается преобразованием из других видов энергии. При этом часть энергии всегда теряется [8].

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) в Таджикистане обладают огромным потенциалом [9], однако их переменчивость – зависимость от солнца, ветра или сезонных паводков – создает серьезный вызов для стабильного энергоснабжения. Решение этой проблемы лежит в развитии систем хранения энергии, которые позволяют сглаживать колебания выработки и обеспечивать электроэнергией потребителей в периоды низкой генерации ВИЭ. В контексте Таджикистана, с его горным рельефом и удаленными населенными пунктами, внедрение системы

хранения энергии приобретает особую актуальность.

Сферы применения систем накопления энергии в Таджикистане можно выделить следующие:

- аварийный источник питания (источник аварийного питания социальных объектов и оборудования);
- регулирование системных параметров (первичное и вторичное регулирование частоты и мощности в энергосистеме);
- услуги в магистральных и распределительных сетях (разгрузка центров питания, поддержание напряжения и частоты на подстанциях, оптимизация инвестиционных и операционных расходов);
- применение систем хранения электроэнергии у потребителей (поддержание качества электроэнергии, резервное питание, снижение заявленной мощности присоединения) [10].

В табл. 3 приводятся сравнение типичных характеристик и свойств различных способов запасаания энергии.

**Таблица 3.** Сравнение типичных характеристик и свойств различных способов запасаания энергии

Параметры	Система				
	Аккумулятор	ГАЭС	Сжатый Воздух	Супер маховик	Супер Конденсатор
Количество циклов	103	104	104	105	106
Жизненный цикл, лет	3-5	20	20	20+	10
Время заряда	Ч	Ч	Ч	мин.	сек.
Выходная мощность	Средняя	Очень высокая	Очень высокая	Высокая	Высокая
Стоимость	Низкая	Очень высокая	Очень высокая	Высокая	Средняя
Масштабируемость	Высокая	Низкая	Низкая	Высокая	Средняя
Экологические проблемы	Средние	Высокие	Средние	Низкие	Низкие



Рассмотрим наиболее перспективные технологии накопления энергии для Таджикистана:

1. Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС). Это наиболее развитая и зрелая технология, особенно актуальная для страны с горным рельефом и обилием водных ресурсов. ГАЭС позволяют закачивать воду из нижнего бассейна в верхний в периоды избыточной выработки электроэнергии (например, днем при высокой солнечной активности) и выпускать ее обратно, генерируя электроэнергию в периоды пикового спроса или низкой генерации ВИЭ. В Таджикистане уже реализуется проект ГАЭС в районе Нурекской ГЭС, что демонстрирует потенциал этой технологии. Однако, строительство ГАЭС требует значительных инвестиций и может оказывать влияние на окружающую среду, поэтому необходимо тщательное планирование и оценка воздействия.

2. Аккумуляторные батареи. Литий-ионные аккумуляторы становятся все более доступными и эффективными, что делает их привлекательным вариантом для хранения энергии в небольших и средних масштабах. Они идеально подходят для обеспечения электроэнергией отдаленных населенных пунктов, где подключение к централизованной сети затруднено, а также для стабилизации микросетей, работающих на солнечных и ветровых электростанциях.

На территории Согдийской области запланировано создание станции мощностью 3 МВт с системой хранения энергии 0,5 МВтч и аналогичный проект в Бадахшане.

Установка солнечных систем с аккумулярованием на производственных предприятиях, в торгово-сервисных центрах и местах общепита для обеспечения систем освещения и безопасности.

С апреля 2024 года в Таджикистане действует инициатива по внедрению

систем приёма и накопления солнечной энергии для снабжения жилых, производственных, общественных и других видов зданий. Согласно этому решению, все новые и капитально отремонтированные объекты в республике наряду с возможностью электрообеспечения от централизованных сетей обязаны иметь такую систему.

Установка солнечных панелей с аккумулярованием энергии в приграничном посту Кизил-Арт в Мургабском районе ГБАО.

3. Накопление энергии в виде водорода. Электролиз воды, используя избыточную электроэнергию от ВИЭ, позволяет получать водород, который можно хранить и использовать для производства электроэнергии в топливных элементах или для других целей (например, для транспорта). Эта технология находится на стадии развития, но обладает большим потенциалом для долгосрочного хранения энергии и может способствовать декарбонизации экономики. В условиях Таджикистана, с его обилием водных ресурсов, производство водорода может быть экономически выгодным.

4. Тепловые аккумуляторы. В районах с холодным климатом тепловые аккумуляторы могут использоваться для хранения тепла, полученного от солнечных коллекторов или биомассы, и использования его для отопления домов и промышленных объектов.

Внедрение систем накопления энергии в Таджикистане сталкивается с рядом проблем: высокая стоимость технологии накопления энергии, недостаток квалифицированных кадров, нормативно-правовую базу. Несмотря на эти проблемы, развитие систем накопления энергии в Таджикистане выглядят многообещающе.

### Выводы

Эффективное использование энергетических ресурсов в Таджикистане зависит

не только от способов их использования, но и от методов накопления выработанной энергии.

Системы накопления энергии имеют огромное значение, они повышают интерес использования энергии для бытовых и коммунальных секторов и содействует появлению электроэнергии в определенном районе, обеспечивает при этом оптимальное функционирование локальной электросети.

При проектировании системы накопления энергии, необходимо сделать выбор какая технология (литий-ионная, свинцово-кислотная, щелочная или другая) более всего подойдет для достижения этих целей. Использование стратегии с несколькими технологиями будет стоить дороже, но и позволит этой системе быть более гибкой.

В Таджикистане выгодны некоторые виды накопления электроэнергии, связанные с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Страна обладает потенциалом в области солнечной, ветровой, гидроэнергетики и биоэнергетики.

Гидроэнергетика, безусловно, является ключевым элементом энергетической системы Таджикистана. Однако, сезонные колебания речного стока и неравномерность потребления энергии в течение года требуют развития технологий аккумулирования энергии. В этом контексте, строительство гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) представляется наиболее перспективным решением. Использование существующих водохранилищ, созданных для ирригации и генерации, может значительно снизить стоимость и сроки реализации проектов ГАЭС.

Солнечная и ветровая энергетика, хотя и менее развиты, также обладают значительным потенциалом. В сочетании с системами хранения энергии, они могут обеспечить стабильное и надежное энер-

госнабжение в отдаленных районах, не подключенных к централизованной сети. Здесь наиболее эффективным может быть использование аккумуляторных батарей, позволяющих запасать избыточную энергию в периоды высокой генерации и отдавать ее в периоды дефицита.

Альтернативным вариантом является развитие накопителей на основе сжатого воздуха. Геологические особенности Таджикистана предоставляют возможность создания подземных хранилищ для сжатого воздуха, что может существенно повысить эффективность использования ветровых и солнечных электростанций.

Внедрение систем накопления энергии требует комплексного подхода, включающего разработку нормативно-правовой базы, привлечение инвестиций, обучение квалифицированных специалистов и проведение научно-исследовательских работ. Государственная поддержка и стимулирование частных инвестиций в эту область являются необходимыми условиями для успешной интеграции ВИЭ и повышения энергетической безопасности Таджикистана.

В конечном итоге, комплексный подход, сочетающий различные технологии аккумулирования энергии, позволит Таджикистану максимально эффективно использовать свой потенциал в области ВИЭ и обеспечить энергетическую безопасность страны.

### Литература

1. ГОСТР 58092.1 – 2021. Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Термины и определения. Издание официальное. – М.: Стандартиформ. – 2021. – 48 с.
2. Козлов С. В., Киндряшов А. Н., Соломин Е. В. Анализ эффективности систем накопления энергии / Козлов С. В., Киндряшов А. Н., Соломин Е. В. // Альтернативная энергетика и экология.-2015. –Т.2 .-С.29-34.
3. Аллахвердян Н.Л. Аккумуляторы тепловой энергии и их применение // Молодой ученый. 2016. №8(112). – С. 174-176.
4. Россихин Д.А., Менделеев Д.И., Галимзянов Л.А. Вопросы применения и развития систем накопления электроэнергии // Сборник докла-

- дов Международной научно-практической конференции для представителей сообщества молодых инженеров ТЭК «Развивая энергетическую повестку будущего». – Санкт-Петербург, 10–11 декабря 2021. – С. 24-29.
5. Борисов М.Г. Развитие систем хранения электрической энергии: новые возможности для стран Востока // Восточная аналитика. 2021. – №1. – С. 21-32.
  6. Менделеева Д. И., Галимзянова Л. А., Федотова А. Ю., Россихина Д. А. Анализ применения систем накопления электроэнергии на тепловых электрических станциях // Сборник докладов Международной научно-практической конференции для представителей сообщества молодых инженеров ТЭК «Развивая энергетическую повестку будущего». – Санкт-Петербург, 10–11 декабря 2021. – С. 73-78.
  7. Каримов Х.К., Ахмедов Х.М. Солнечная теплоэнергетика // Книга. Душанбе, Дониш, – 2008. – с.156.
  8. Каримов Х.К., Ахмедов Х.М. Солнечная электроэнергетика. Душанбе: Дониш. –2008. – с.156.
  9. Юмаев Н.Р., Юсуфбеков Н.Ш. Потенциал возобновляемых источников энергии в Таджикистане// Материалы международной научной конференции «роль молодых ученых в развитии науки, инноваций и технологий», посвященной 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан 19-20 мая 2016. – Душанбе. – 2016. – С.142-146.
  10. Юмаев Н.Р. Системы хранения электроэнергии // Материалы III Международной научной конференции «Роль молодых ученых в развитии науки, инноваций и технологий». – Душанбе: Дониш, 2019 г. – С. 49-54.

## СИСТЕМАҲОИ ҶАМЪОВАРИИ НЕРҶИ БАҶҚ ДАР ТОҶИКИСТОН

Юмаев Н.Р.<sup>1</sup>, Кулулов М.А.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Маркази руидаи инноватсионии илм ва технологияҳои нави Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

\*Муаллифи масъул: E-mail: mahmadillokululov@gmail.com

**Шарҳи мухтасар.** Кор ба таҳлили технологияҳои муосири нигоҳдории нерӯи баҷқ баҳида шудааст. Системаҳои гуногуни барои захира ва нигоҳдории энергияи баҷқ истифодашаванда баррасӣ гардида, хусусиятҳои онҳоро онҳо ошкор шудааст, се кишвари аввалро аз рӯйи ҷиҳдҳои муқаррарнамудаи ин системаҳо муаррифӣ мекунад. Дар қор соҳаҳои истифодаи системаҳои нигоҳдории нерӯи баҷқ, технологияҳои ояндаҳои захираи энергия барои Тоҷикистон, мушкилоти қорӣ ва дурнамои онҳо пешниҳод карда мешаванд.

**Калидвожаҳо:** системаҳои нигоҳдории баҷқ, энергетикаи баҷқароршаванда, батарея, истифодаи системаҳои нигоҳдории нерӯи баҷқ, нерӯгоҳҳои гидроаккумуляторӣ, батареяҳои аккумуляторӣ.

## ELECTRICITY STORAGE SYSTEMS IN TAJIKISTAN

Yumaev N.R.<sup>1,\*</sup>, Kululov M.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Center for innovative development of science and new technologies of the National academy of sciences of Tajikistan

\*Corresponding author: E-mail:

**Abstract.** This study is devoted to the analysis of modern technologies of electric power storage. It examines various systems used for the accumulation and storage of electric energy, gives their characteristics, and presents the first three countries in terms of the installed capacity of these systems. The paper presents the fields of application of electric power storage systems, promising energy storage technologies for Tajikistan, problems of implementation and their prospects.

**Keywords:** electricity storage systems, renewable energy, battery, applications of electric power storage systems, pumped storage power plants, rechargeable batteries.

**Маълумот дар бораи муаллифон:** Кулулов Махмадилло Абдуллоевич, 734025, Маркази тараққиёти инноватсионии илм ва технологияҳои нави Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. E-mail: mahmadillokululov@gmail.com; Юмаев Наим Рашидович. Агентии обуҳавошиносии Кумитаи ҳифзи муҳити зисти назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон.

**Сведения об авторах:** Кулулов Махмадилло Абдуллоевич, Центр инновационного развития науки и новых технологий Национальной академии наук Таджикистана. E-mail: mahmadillokululov@gmail.com; Юмаев Наим Рашидович Агентство по гидрометеорологии Комитета по охране окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан.

**Information about the authors:** Qululov Mahmadillo Abdulloevich Center for Innovative Development of Sciences and New Technologies. E-mail: mahmadillokululov@gmail.com; Yumaev Naim Pashidovich Agency for hydrometeorology the Committee of Environmental Protection under the Government of the Republic of Tajikistan.

УДК 550.3+626/627

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ТУННЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА И ХАРАКТЕРИСТИК ТВЁРДОГО СТОКА РЕКИ

Чакалова Б.Дж.<sup>1,\*</sup>, Бобохонов Ф.Ш.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана*

*\*Автор корреспонденции: E-mail: bibisoro1997@mail.ru*

**Аннотация.** В течение периода с 1988 по 1992 гг. эксплуатация строительных туннелей Рогунского гидроузла, находящегося под абразивным воздействием влекомых и взвешенных наносов реки, вызвало значительные разрушения стальной облицовки и железобетонной обделки по длине туннеля от входного до выходного портала. В данной статье приводится анализ материалов и характеристик твёрдого стока р. Вахи на участке строительства Рогунского гидроузла. В связи с этим при проектировании гидротехнических сооружений на основании данных (сведений) о твёрдом стоке и его характеристиках важно учесть возможные последствия, возникающие после нарушения естественного (бытового) режима стока речных наносов.

**Ключевые слова:** безопасность, строительные туннели, твёрдый сток, гидрология, проектирование, наносы, абразив, размыв, взвешенные наносы, влекомые наносы, истирание.

### Введение

Речные гидротехнические сооружения (плотины, дамбы, водозаборы) изменяют режим речных наносов, которые, в свою очередь, вызывают затруднения при строительстве и эксплуатации этих сооружений [1, 2].

Так, при сооружении регулирующих сток водохранилищ или при создании подпертых бьефов с помощью водоподъёмных плотин, приносимые рекой наносы задерживаются выше плотин и постепенно заполняют ёмкость верхнего бьефа [3, 4].

На реках со значительным уклоном даже крупные водохранилища утрачи-

вают регулирующую способность за несколько лет.

Трудности в эксплуатации гидротехнических сооружений на реках возникают также при попытках пропускать наносы через сооружения. Наносы, попадая в водопропускные (водоотводящие) сооружения (трубы, туннели) могут быстро истирать облицовку, а попадая на лопасти гидротурбин ГЭС, выводят их из строя.

В связи с этим при проектировании гидротехнических сооружений на основании данных (сведений) о твёрдом стоке и его характеристиках важно учесть возможные последствия, возникающие после нарушения естественного (бытового) ре-



жима стока речных наносов.

Для р. Вахш примером воздействия наносов на гидротехнических сооружениях явились разрушения обделки и вмещающего массива горных пород строительного туннеля первого яруса (рисунок 1) Рогунского гидроузла [5]. В течение всего периода эксплуатации туннель находился под абразивным воздействием влекомых и взвешенных наносов реки, что вызвало значительные разрушения стальной облицовки и железобетонной обделки по длине туннеля от входного до выходного портала.

При длительной эксплуатации подземных гидротехнических туннелей в щадящем режиме, где под действием гравитационного давления и течения твёрдого стока генерируются механические вибрации (ударные воздействия), могут формироваться объёмные зоны растягивающих напряжений в песчаных породах [6, 7], разнонаправленные растягивающие напряжения и усиления процесса релаксации самонапряжённого состояния в алевритовых массивах [8, 9].

#### **Объект и методы исследования.**

В данной работе на основе собранных, проанализированных и обработанных гидрологических материалов наблюдений

гидрометеорологической сети станций и постов Таджикского управления Гидрометеослужбы, данных гидрологических изысканий Средазгидропроекта (Ташкентский Гидропроект) с использованием данных по стоку воды в створе гидрологического поста Кишрог по 2007 г. актуализируются характеристики твёрдого стока р. Вахш на участке строительства Рогунского гидроузла.

Изучение твёрдого стока р. Вахш и её составляющих - рек Сурхоб и Обихингоу, в основном, велось гидрометеорологической службой Таджикистана. Бассейн р. Вахш плохо освещён наблюдениями за стоком наносов. До 1990 г. в бассейне в разное время действовало всего лишь 11 постов. Изучение стока влекомых наносов практически не проводилось, имеются лишь отрывочные материалы наблюдений. Мало изучен твёрдый сток рек Кызылсу и Обихингоу.

Наиболее продолжительные наблюдения имеются на р. Вахш – ст. Туткаул ( $F = 31,200 \text{ км}^2$ ) за 1942-1944, 1948-31.05.1967 г.г. С 23.06.1967 наблюдения продолжены по ст. Саригузар ( $F = 31,400 \text{ км}^2$ ); на р. Сурхоб – ст. Гарм (1955 - 1977, 1980 - 1983 гг.).



**Рисунок 1.** Размыв лотка I-го строительного туннеля

Рассмотрение материалов наблюдений по твёрдому стоку показало следующее. Как указывалось выше, с 1973 г. естественный сток наносов р. Вахш, фиксируемый ст. Саригузар, искажен Нурекским водохранилищем. Поэтому данные по твёрдому стоку ст. Туткаул (ст. Саригузар) могут быть использованы по 1972 г.

Кратковременные наблюдения за твёрдым стоком велись на р. Обихингоу - ст. Лайрони-Поен (1966-1973 г.г.); р. Вахш - ст. Чорсада ( $F = 29,900 \text{ км}^2$ ) (1964 - 1973 г.г.).

#### **Обсуждение результатов исследования.**

Для обоснования проекта Рогунской ГЭС Средазгидропроект в 1974 - 1975 г.г. проводил наблюдения за твёрдым стоком на р. Сурхоб (ст. "Устье"); за мутностью - на водомерных постах: р. Обихингоу - ст. "Устье", р. Вахш - Комсомолабад ( $F = 29,500 \text{ км}^2$ ) - 1977, 1980-1982 г.г., 16-й водпост (1978 г.). Эпизодические наблюдения проводились на гидрометрической станции Кишрог в 1984 - 1986; 1990 - 1992 гг.

Бассейн р. Вахш относится к зоне с мутностью  $2\ 500 - 4\ 000 \text{ г/м}^3$ . Высокая мутность в бассейне р. Вахш объясняется обилием осадков, высоким удельным стоком воды, наличием в этом районе широко развитых третичных меловых отложений, легко поддающихся размыву и выветриванию, а также тем, что в общей сложности 52 % площади бассейна занимают полупустынные зоны и скалистые обнажения, 35 % - травяной покров и 13 % - лес и кустарниковая растительность.

Для годового хода мутности воды р. Вахш характерна повышенная мутность в период половодья, причём имеется тенденция к двум её максимумам – в мае, в период интенсивного таяния сезонных снегов, и в июле-августе, в период таяния ледников. Самая низкая мутность и расходы наносов наблюдаются в зимние месяцы.

В весенний период мутность воды реки резко увеличивается, причём величины её достигают большего значения на подъёме половодья, чем на спаде. Наблюдаются случаи, когда мутность повышается при почти постоянном расходе воды. Это объясняется выпадением ливневых дождей, охватывающих небольшую территорию, когда количество воды настолько мало по сравнению с расходом основной реки, что лишь в слабой степени отражается на её уровне, в то время как смыв при таких дождях достигает громадных величин.

Наибольшая среднемесячная мутность в створе ст. Комсомолабад, равная  $9\ 400 \text{ г/м}^3$  наблюдалась в августе 1978 г. (при расходе взвешенных наносов  $18\ 600 \text{ кг/с}$  и расходе воды  $1\ 980 \text{ м}^3/\text{с}$ ). Наименьшая среднемесячная мутность  $22,3 \text{ г/м}^3$  была в декабре 1959 г. (при среднем расходе взвешенных наносов  $4,91 \text{ кг/с}$  и расходе воды  $220 \text{ м}^3/\text{с}$ ).

Измеренные минимальные расходы взвешенных наносов в створе ст. Комсомолабад в 1978 г. составляли  $0,29 \text{ кг/с}$  23.03.1978 при расходе воды  $160 \text{ м}^3/\text{с}$ , а максимальные -  $28\ 600 \text{ кг/с}$  - 09.08.78 при расходе  $1\ 940 \text{ м}^3/\text{с}$  (мутность  $14\ 750 \text{ г/м}^3$ ).

Наибольшая среднемесячная мутность в створе ст. Туткаул, равная  $15\ 350 \text{ г/м}^3$  наблюдалась в мае 1948 г. (при расходе взвешенных наносов  $13\ 860 \text{ кг/с}$  и расходе воды  $903 \text{ м}^3/\text{с}$ ). Наименьшая среднемесячная мутность  $22,3 \text{ г/м}^3$  была в декабре 1959 г. (при среднем расходе взвешенных наносов  $4,91 \text{ кг/с}$  и расходе воды  $220 \text{ м}^3/\text{с}$ ).

Наибольшая среднегодовая мутность наблюдалась в 1956г. и составляла  $6\ 040 \text{ г/м}^3$ . Наибольшая мутность при замеренном расходе взвешенных наносов составляла  $39\ 900 \text{ г/м}^3$  03.05.1956 (расход взвешенных наносов  $48\ 700 \text{ кг/с}$ , расход воды  $1\ 220 \text{ м}^3/\text{с}$ ).

Формирование стока речных наносов р. Вахш происходит в основном за счёт смыва мелкозема с речных бассейнов и,

в значительно меньшей степени, за счёт руслового размыва, причём интенсивность последнего зависит от устойчивости русла. Среди продуктов бассейнового смыва основную роль играют наносы, выносимые ледниковыми водами, и наносы, смываемые талыми снеговыми и дождевыми водами.

Доля взвешенных наносов за счёт ледникового смыва в бассейне р. Вахш, которая относится к рекам с ледниково-снеговым питанием со средними высотами водосборов выше 3 300 м, достигает наибольших значений (70-80 %). С понижением высоты водосбора доля ледникового смыва уменьшается, а доля талого и дож-

девого смыва увеличивается.

Внутригодовое распределение стока взвешенных наносов и мутности в основном соответствует внутригодовому распределению жидкого стока, но отличается еще большей неравномерностью. Колебания расходов взвешенных наносов не всегда синхронны колебаниям расходов воды. Из сопоставления лет с экстремальными значениями расходов воды и наносов (табл. 1) видно, что не всегда наибольший по водности год является наибольшим по стоку взвешенных наносов, также как и наименьшие годы по стоку воды не всегда будут наименьшими по стоку наносов.

**Таблица 1.** Сопоставление наибольших и наименьших расходов воды и наносов.

Река - пост	Экстремальные расходы воды, м³/с				Экстремальные расходы наносов, кг/с				Отношение наибольших расходов к наименьшим	
	наиболь- ший	год	наи- меньший	год	наи- большой	год	наи- меньший	год	воды	наносов
Сурхоб – пгт Гарм	456	1933	253	1962	2 490	1956	640	1957	1,8	3,9
Вахш кишл. Туткаул	782	1949	487	1957	4 400	1952	1 470	1965	1,6	3,0

Наибольший относительный месячный сток взвешенных наносов может превышать наибольший месячный сток воды в среднем в 1,7 раза.

В осенне-зимний период (октябрь-февраль) расходы взвешенных наносов наиболее низкие и сток наносов составляет всего от 0 до 5 % годового.

В весенний период, с марта по июнь, мутность воды резко увеличивается, причём величины её достигают больших значений на подъёме половодья, чем на спаде. Время прохождения наибольших среднемесячных расходов взвешенных наносов не одинаково по длине р. Вахш, так как зависит в основном от высоты водосборов, и обычно совпадают с периодом максимальных расходов воды.

Время прохождения максимумов наносов в бассейне р. Вахш зависит от высоты составляющих водосборов: чем больше высота, тем на более поздние сроки сдвигается прохождение наибольших среднемесячных расходов взвешенных наносов, и на реках со средними высотами бассейнов 3 - 4 км максимумы проходят в августе. Однако при дальнейшем увеличении высоты бассейнов максимум стока наносов приходится на июль, что объясняется ранними морозами на больших высотах, как бы искусственно срезающими половодье. С уменьшением высоты водосбора половодье сдвигается на более ранние сроки. Для приближённой оценки времени наступления максимального месячного расхода наносов может быть исполь-

зована таблица 2 в которой на основании анализа сезонного распределения стока наносов по рекам бассейна Вахш приве-

дено распределение времени прохождения максимального стока по высотам в различных районах.

**Таблица 2.** Высотные пояса, в которых в данном месяце наблюдается максимальный сток наносов.

Район	Месяц с максимальным стоком наносов					
	III	IV	V	VI	VII	VIII
Бассейн р. Вахш	1,05-1,40	1,40-1,80	1,80-2,25	2,25-2,75	2,75-3,25 и > 3,80	3,25-3,80

Движение влекомых наносов начинается при расходах свыше 500 м<sup>3</sup>/с и скоростях течения свыше 2,5 м/с и практически прекращается на спаде половодья при расходах 400 -450 м<sup>3</sup>/с.

Наибольший расход влекомых наносов в створе станции Туткаул был замерен 23.07.1961 – 873 кг/с при расходе воды 1 950 м<sup>3</sup>/с и средней скорости течения 4,05 м/с. При скоростях течения менее 2 м/с движение влекомых наносов не наблю-

дается. По данным Ташгидропроекта измерение расходов влекомых наносов невозможно при прохождении расходов от 800 м<sup>3</sup>/с и более из-за больших придонных скоростей – свыше 3,0 м/с, влечения наносов размером больше, чем входное отверстие сачка-ловушки и относа груза с сачком.

Гранулометрический состав взвешенных и влекомых наносов в бассейне р. Вахш приведены в таблице 3.

**Таблица 3.** Фракционный состав наносов р. Вахш по данным наблюдений Гидрометеорологической службы Таджикистана.

Река	Пост	Годы наблюдения	Число проб	Содержание частиц в % по весу диаметром, мм			
Вахш	пгт Гарм	1940, 1949-63	102	4,0	23,7	28,6	43
Вахш	кишл. Туткаул	1939-44, 1947-66	169	4,5	23,1	27,8	44,5
Кызылсу	кишл. Домбрачи	1962, 1964-66	13	1,0	11,3	34,2	53,5
Муксу	кишл. Давсеар	1962, 1964-65	11	5,2	17,1	40,3	37,4

Гранулометрический состав взвешенных наносов, полученный в результате обработки проб наносов на участке строящейся Рогунской ГЭС по данным гидрологических работ [10] приведён в таблице 4, кривая гранулометрического состава

взвешенных наносов показана на рисунке 1. Данные в таблице 3, 4 и на рисунке 2 свидетельствуют о преобладании в стоке взвешенных наносов фракций со средним диаметром < 0,01 мм.

**Таблица 4.** Гранулометрический состав взвешенных наносов р. Вахш на участке строительства Рогунской ГЭС

d, мм	1 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,1	0,1 - 0,05	0,05 - 0,01	< 0,01
%	1,17	1,19	13,99	21,25	19,6	42,8

Гранулометрический состав взвешенных наносов по данным измерений для половодного периода 1992 года показан в

таблице 5, а для целого года (1979 г.) - в таблице 6.



Таблица 5. Гранулометрический состав взвешенных наносов по измерениям в 1992 г.

Месяц	Диаметр фракций в мм и их содержание в % по весу					
	1 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,1	0,1 - 0,05	0,05 - 0,01	< 0,01
Апрель		1,5	1,6	61,0	15,1	20,7
май		3,8	12,8	61,6	10,9	10,9
июль		1,4	5,3	62,6	16,1	14,6
август			4,6	62,7	16,6	16,1

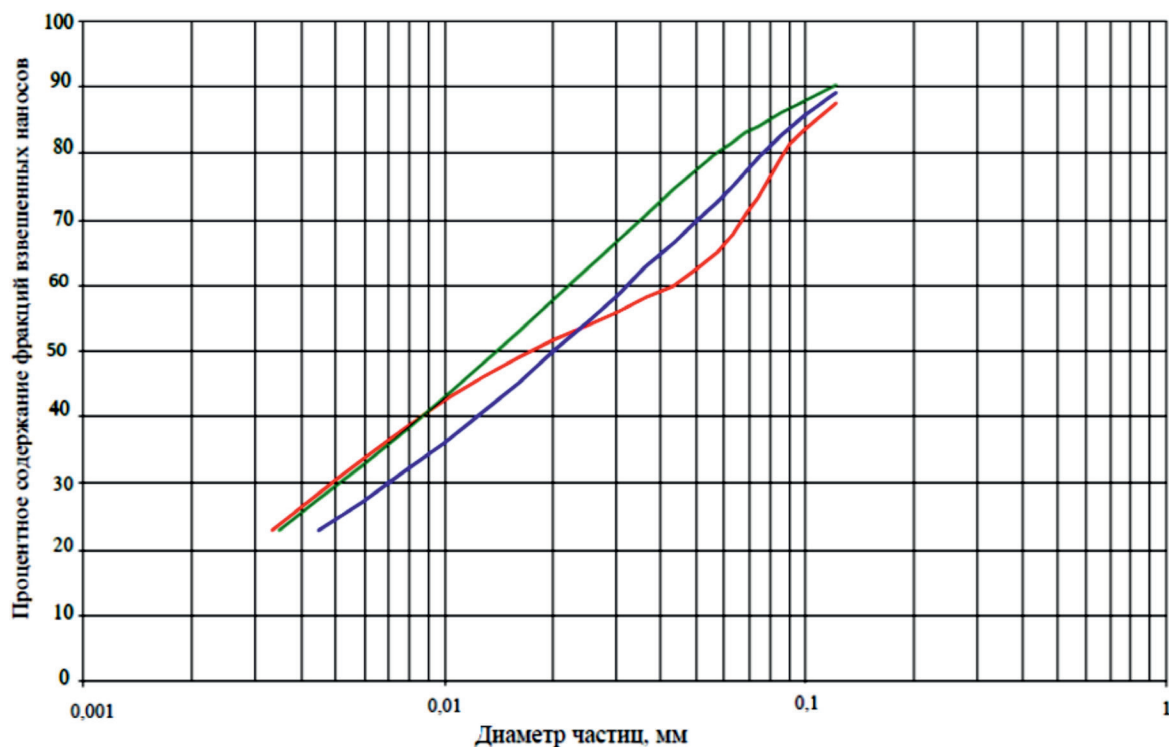


Рисунок 2. Кривые гранулометрического состава взвешенных наносов рек Вахш (ст. Туткаул), Сурхоб (ст. Гарм, устье) и Обихингоу (ст. Лайрони-Поен)

Таблица 6. Гранулометрический состав взвешенных наносов р. Вахш в 1979 г.

Месяц	Диаметр фракций в мм и их содержание в % по весу					
	1 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,1	0,1 - 0,05	0,05-0,01	< 0,01
январь		2,0	12,9	11,4	28,7	45,0
февраль		1,4	7,6	27,8	12,9	50,3
март	0,3	0,5	3,2	26,4	30,5	43,0
апрель		1,0	5,0	16,0	35,0	43,0
май	0,1	2,2	6,2	25,6	34,4	31,5
июнь		0,8	9,6	21,4	36,0	32,2
июль		1,0	8,1	21,2	33,5	36,2
август		0,2	5,2	56,3	12,4	25,8
сентябрь		0,3	7,4	29,4	28,6	34,3
октябрь		0,4	4,0	16,6	26,3	52,7
ноябрь			8,2	22,0	7,3	62,5
декабрь			11,1	23,2	18,7	47,0

Гранулометрический состав влекомых наносов по данным гидрологических изысканий, результаты которых обобщены в

[10], приведён в таблице 7, кривая грансостава - на рисунке 3.

Таблица 7. Гранулометрический состав влекомых наносов р. Вахш

d, мм	500 - 250	250 - 120	120 - 80	80 - 40	40 - 20	20 - 10	10 - 5	5 - 1,2	< 1,2
%	3,0	17,8	14,2	27,1	19,6	4,1	2,9	3,3	8,0

Следует отметить, что в составе влекомых наносов часто встречаются обломки не окатанных камней [1], которых очень

много в долине реки на склонах и в осыпях.

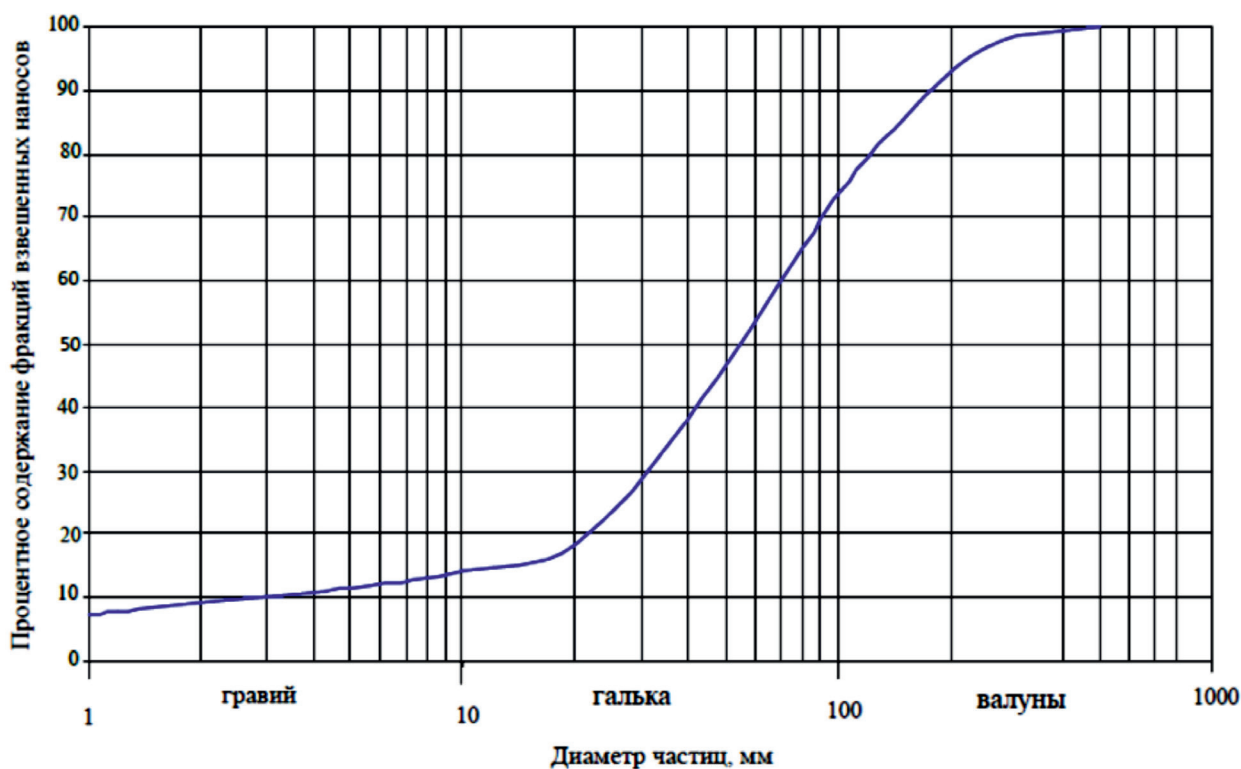


Рисунок 3. Кривая гранулометрического состава влекомых наносов реки Вахш в створе Рогунской ГЭС

### Выводы

1. Характеристики твёрдого стока р. Вахш на участке строительства Рогунской ГЭС, полученные по удлинённым рядам среднемесячных и годовых расходов воды, подтверждают принятые ранее в уточнённом проекте, примерно 100 млн. тонн в год. Из них на долю влекомых и наносов приходится 25 - 28 %. Несмотря на то, что влекомые наносы перемещаются только во время паводка, их абра-

зивное воздействие на бетонную отделку и металлическую облицовку туннелей следует оценивать как катастрофическое. Анализ абразивного воздействия наносов на бетонную облицовку отделки показал, что в течение одного года в условиях Рогунского створа она может быть разрушена на глубину 0,6 - 1,2 м в зависимости от количества наносов, пропускаемых по туннелю. В случае применения металлической облицовки глубина истирания мо-

жет быть 24 - 48 мм.

2. Факторами, усиливающими абразивное истирание, являются: поперечная циркуляция, возникающая на поворотах трассы туннелей; ускоренное движение потока в пределах сопрягающего туннеля; вальцы гидравлических прыжков, способствующие взвешиванию донных наносов с их последующим ударным воздействием.

### Литература

1. Фазылов А.Р., Лавров Н.П. Управление твердым стоком реки Вахш в условиях изменения климата. В сборнике: Проблемы управления речными бассейнами при освоении Сибири и Арктики в контексте глобального изменения климата планеты в XXI веке. Сборник докладов XIX Международной научно-практической конференции. 2017. С. 216-222.
2. Маматканов Д.М., Фазылов А.Р. Влияние водохранилищ на режим твердого стока рек горно-предгорной зоны Таджикистана. Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2015. Т. 15. № 3. С. 178-182.
3. Фазылов А.Р. Антропогенные изменения стока наносов рек, зоны их формирования. Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2015. Т. 15. № 3. С. 189-193.
4. Фазылов А.Р., Саидов И.И. Обеспечение гидроэкологической безопасности через совершенствование способов и средств борьбы с наносами в горно-предгорной зоне Таджикистана. Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2014. Т. 14. № 7. С. 124-128.
5. В.Ф. Илюшин. Уроки аварии строительного туннеля при сооружении Рогунского гидроузла. Гидротехническое строительство, -№ 4, 2002. -С.51-56.
6. Давлатшоев С.К. Оценка качества укрепительной цементации вмещающего массива песчаников в условиях растягивающих напряжений. Гидротехническое строительство, №12, 2021. -С. 15-20.
7. Davlatshoev S. K. Evaluation of the quality of strengthening cementation of an enclosing sandstone massif under tensile stresses. Power Technology and Engineering, vol. 56, No. 1, May, 2022. Pp. 46-51. <https://doi.org/10.1007/s10749-023-01469-10>.
8. Давлатшоев С.К. Влияние объёмного нагружения скальных пород подземного помещения на процесс релаксации самонапряжённого состояния алевролитового массива. Гидротехническое строительство, №1, 2022. -С. 6-12.
9. Davlatshoev S. K. Influence of volumetric loading of rocks surrounding underground chambers on the relaxation of self-stressed aleurolite massif. Power Technology and Engineering, vol. 56, No. 2, July, 2022. Pp. 157-163. <https://doi.org/10.1007/s10749-023-01488-x>.
10. Рогунская ГЭС на р. Вахш. Технический проект, Часть 1. Природные условия. Книга 1. Гидрологические условия. Климат. Режим реки в проектных условиях. Ташкент, 1978-1981 гг.

## ТАЪМИН НАМУДАНИ БЕХАТАРИИ НАҚБҲОИ ГИДРОТЕХНИКИИ СОХТМОНӢ ҲАНГОМИ БАЛОИҲАГИРӢ ДАР АСОСИ ОМУӢЗИШИ ТАРКИБ ВА ТАВСИФИ ЧАРАӢНИ САХТИ ДАРӢ

Чақалова Б.Ч.<sup>1,\*</sup>, Бобохонов Ф.Ш.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институту масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

\*Муаллифи маънӯл: E-mail: bibisoro1997@mail.ru

**Шарҳи мухтасар.** Дар тамоми давраи аз солҳои 1988 то соли 1992 ҳангоми ба қор андохтани нақбҳои сохтмони гидрогиреҳи Рогун дар зери таъсири абразивии қувваи вазнинии обовардҳои шинокунандаи дарё дар тули дарозии нақб аз даромадгоҳ то ба баромадгоҳи он зарари калон расониданд. Дар мақолаи мазкур таҳлили мавод ва хусусиятҳои маҷрои саҳти дарёи Вахш дар минтақаи сохтмони гидрогиреҳи Рогун оварда шудааст. Дар алоқамандӣ бо ин ҳангоми лоиҳакашии иншоотҳои гидротехникӣ дар асоси маълумот дар бораи маҷрои саҳт ва хусусиятҳои он оқибатҳои эҳтимолиро, ки баъди вайрон шудани речаи табиши (дохилии) чараёни обовардҳои дарё ба амал меоянд, ба назар гирифтани зарур аст.

**Калидвожаҳо:** беҳатарӣ, нақбҳои сохтмонӣ, маҷрои саҳт, ҳидрология, балоиҳагирӣ, обовардҳо, абразивӣ, шустаишавӣ, обовардҳои шинокунанда, кӯҳнашуда.

## ENSURING THE SAFETY OF HYDRAULIC CONSTRUCTION TUNNELS IN DESIGN BASED ON THE STUDY OF THE COMPOSITION AND CHARACTERISTICS OF THE RIVER'S SOLID RUNOFF

**Chakalova B.J.<sup>1,\*</sup>, Bobohonov F.Sh.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology National Academy of Sciences of Tajikistan*

<sup>\*</sup> *Corresponding author: E-mail: bibisoro1997@mail.ru*

**Abstract.** During the entire period from 1988 to 1992, the operation of the construction tunnels of the Rogun hydroelectric complex was under the abrasive effect of the river's traction and suspended sediments, which caused significant destruction of the steel lining and reinforced concrete lining along the length of the tunnel from the entrance to the exit portal. This article provides an analysis of the materials and characteristics of the solid runoff of the Vakhsh River at the construction site of the Rogun hydroelectric complex. In this regard, when designing hydraulic structures based on data (information) on solid runoff and its characteristics, it is important to take into account the possible consequences that arise after disruption of the natural (domestic) flow regime of river sediments.

**Key words:** safety, construction tunnels, solid runoff, hydrology, design, sediment, abrasive, erosion, suspended sediment, bedded sediment, abraded.

**Маълумот дар бораи муаллифон:** Чакалова Бибисоро Ҷонҷигитовна, докторанти (PhD) курси 2-юми Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Ҷумҳурии Тоҷикистон, тел. (+992) 987199785, e-mail: bibisoro1997@mail.ru. Бобохонов Фирдавс Шамсиддинович, номзоди илмҳои техникӣ, мудири кафедраи муҳандисӣ ва сохтмони гидротехникӣ, Донишгоҳи давлатии Данғара, Ҷумҳурии Тоҷикистон, тел. (+992) 985497274, e-mail: firdavsi-1988@mail.ru.

**Сведения об авторах:** Чакалова Бибисоро Джонджигитовна, докторант (доктор PhD) 2-го курса Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Республики Таджикистан, тел. (+992) 987199785, e-mail: bibisoro1997@mail.ru. Бобохонов Фирдавс Шамсиддинович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой Инженерных дисциплин и гидротехнического строительства Дангаринского государственного университета, Республика Таджикистан, тел. (+992) 985497274, e-mail: firdavsi-1988@mail.ru.

**Information about the authors:** Chakalova Bibisoro Jonchigitovna, doctoral student (PhD) 2st year institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Republic of Tajikistan. tel: (+992)987199785, e-mail: bibisoro1997@mail.ru., r. Dangara, Dangara state University. Bobohonov Firdavs Shamsiddinovich, Candidate of Technical Sciences, head of Department Engineering disciplines and Hydrotechnical construction Dangara State University. tel: (+992)887686565. e-mail: firdavsi-1988@mail.ru, r. Dangara, Dangara state University.

УДК 502/504:621.224

## РАВАНДҲОИ ЭКОЛОГӢ ВА ГИДРОЭНЕРГЕТИКАИ ХУРД

**Ализода А.А.<sup>1,\*</sup>, Зувайдуллозода Ф.З.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Донишқадаи энергетикӣи Тоҷикистон*

<sup>\*</sup>*Муаллифи масъул: E-mail: zuvaydulloev71@mail.ru*

**Шарҳи мухтасар.** Дар мақола натиҷаи таҳқиқоти назариявӣ-амалии мавзӯи пешниҳодишуда баён гардида, дар бораи масъалаҳои ҳифзи муҳити зист, хусусияти глобализиро касб кардани фаъолияти техногенӣ инсонҳо ва ба ҳамаи паҳлуҳои зиндагӣ фаъолияти онҳо ва табиат таъсири манфӣ расонидани ин амал, кам шудани майдони ҷангалзорҳо, зиёд шудани биёбонҳо ва партобҳои газҳои гулхонаӣ ба атмосфера дар баъзе минтақаҳо, афзудани сӯрохиҳои озонӣ дар атмосфера, маълумоти илмӣ оварда шудааст. ҳамзамон, ҷиҳати ҷустуҷӯи роҳҳои ҳалли бештару муайяни ин проблемаҳои экологӣ дар энергетика тавассути истифодабарии манбаҳои барқароршавандаи ғайрианъанавӣ энергия, аз ҷумла гидроэнергетикаи хурд, тавсияҳои илмӣ пешниҳод гардидаанд.

**Калидвожаҳо:** ҳифзи муҳити зист, фаъолияти техногенӣ, глобалӣ, табиат, ҷангалзор, биёбон, газҳои гулхонаӣ, атмосфера, сӯрохиҳои озонӣ, рушд, энергетика, экология, беҳатарӣ, НБОХ, равғани техникӣ, трансформатор, ҷудокунакҳо, эҳтимолият, иқтисодӣ, техникӣ, иҷтимоӣ.



### Муқаддима

Масоили ҳифзи муҳити зист дар вақтҳои охир нигарони калони аҳли башарро ба вучуд овардааст. Фаъолияти техногенӣ инсонҳо хусусияти глобалиро касб кардааст ва ба ҳамаи паҳлуҳои зиндагӣ фаъолияти онҳо таъсири манфӣ мерасонад ва ҳатто, ҳуди табиатро тағйир дода истодааст. Майдони ҷангалзорҳо кам шуда, биёбонҳо зиёд шуда истодаанд, партобҳои маводҳои ифлоскунанда ва газҳои гулхонаӣ ба атмосфера дар баъзе минтақаҳо ба ҳадди нисбат рафта, сӯрохиҳои озонӣ дар атмосфера афзуда истодаанд.

Яке аз ҷойҳои аввал дар тавсеаи ин равандҳои номатлуби манфӣ ба энергетика тааллуқ дорад, ки миқёси рушди он хусусан дар мамлакатҳои тараққикарда дар 50-60 соли охир, ҳам аз ҷиҳати таъсирасонӣ ба муҳити атроф ва ҳам нисбати истифодаи аз ҳад зиёди захираҳои барқарорнашавандаи минералии сӯзишворӣ, ба андозаҳои хатарнок расидааст. Идома ёфтани ҷунин стратегияи рушд, ҳатман, рушди устувори ҷомеаро таъмин карда наметавонад.

Гузориши масъала. Ҷустуҷӯи созиш миёни рушди зарурии иқтисодӣ ва роҳ надодан ба рушди аз ҳад зиёди энергетикае, ки муҳити табиати онро вайрон менамояд, имрӯз вазифаи аввалиндараҷае мебошад, ки дар назди ҷомеаи ҷаҳонӣ истодааст. Ҷунин созиш яке аз шартҳои рушди устувор мебошад. Бо як андозаи ин созиш миёни мамлакатҳои рушдкарда ва рушдкунандаи низ ҳаст. Инчунин, имрӯз яке аз роҳҳои ҳалли муайяни проблемаҳои экологӣ, ин истифодабарии манбаҳои барқароршавандаи ғайрианъанавии энергия [1-5], аз ҷумла рушди гидроэнергетикаи хурд мебошад [6-7].

Тадқиқот. Сохтмони НБО-хурд аз нуқтаи назари экологӣ, дар муқоиса бо НБО-и калон, ба муҳити атроф ягон намуни таъсири манфӣ, ки аз ҷорҷӯбаи таъсирасонии мавҷудбуда берун бо-

шад, намерасонад [8-9]. Иншооти калонтари НБОХ-каналҳои дериватсионӣ ва кубурҳои обфишорӣ аз рӯи параметрҳои худ: намуна(тип), нимруҳ(профил) ва дарозӣ аз иншооти ҳаммонанди алақай биҷор солҳо амалкунандаи ин минтақаҳо фарқ намекунад. Самту роҳи равиши онҳо аз болои нишебии теплаву кӯҳҳо, заминҳои барои истифодабарии кишоварзӣ корношоям ҳам аз рӯи шароитҳои топографӣ(нишебҳои аз ҳад зиёд) ва ҳам аз рӯи шароитҳои ҳокӣ(резиши хокрезҳои сангии беҳосил) мегузарад.

Дар ҳамаи НБОХ шакли дериватсионӣ обанборҳои ба муҳити атроф таъсири манфӣ расонанда, ба пуррагӣ вучуд надоранд. НБОХ оби дарёро истеъмол намекунад, онро аз давргардии табиӣ ҷудо наметавонад, танҳо аз минтақаи обанбор онро қисман гирифта муваққатан истифода бурда, пурра ба дарё бармегардонад.

Инчунин НБОХ ба сифати об таъсири ночизе ҳам намерасонад, чунки дар раванди технологияи истеҳсоли энергияи электрикӣ маводҳои ифлоскунанда истифода намешаванд. Ҳуди маҳсулоти охири НБОХ-энергияи электрикӣ ҳам яке аз покзатари намудҳои энергия ба шумор меравад [8]. Ҳамин тавр, НБОХ ба муҳити атроф таъсири манфӣ намерасонанд. Аз ҳамаи олиҳоз, тибқи критерияҳои Бонки ҷаҳонӣ, маълумотҳо ба категорияи В шомил мешаванд.

Таъсири ягонаи манфии НБОХ ба экология аз рӯи истифодаи рағани техникӣ дар трансформатор ва ҷудокунакҳо имконпазир аст. Насбу васли трансформатору ҷудокунакҳои замонавӣ беҳатар, инчунин рағантакшинкунакҳо рехтани рағанро нигоҳ дошта, эҳтимолияти ифлосшавии муҳити атрофро бартараф месозанд.

Яке аз масъалаҳои асосӣ ҳангоми истифодабарии НБОХ ин идоракунии партобҳо аст, ки бояд назорат карда шавад. Рағанҳои корношоямшуда бояд дар корхонаҳои махсус регенератсия карда ша-

ванд. Ба замин рехтан ва ё таги хок кардани ин гуна равғанҳо манъ аст. Қисматҳои металлӣ аз корношоямшуда бояд ба корхонаи махсус супорида шаванд.

Корҳои таъмири дар НБОХ ҳангоми

баргузори онҳо тибқи меъёру қоидаҳои амалкунанда, аз нуқтаи назари экологӣ метавонанд дуҷумдараҷа ҳисобида шаванд.

**Ҷадвали 1.** Хусусиятҳои муқоисавии ба мақсад мувофиқ будани рушди НБОХ.

№	Омилҳо	Афзалиятҳо
1	Иқтисодӣ	-арзиши аслии энергияи электрикии дар НБОХ истиҳсолшуда 2÷2,5 маротиба аз НБО калон паст аст; -сохтмони сарбандҳо ва зерибмонии майдонҳои зиёдро талаб намекунад; -қитъаҳои замини ҳосилхезро барои сохтмон ҷалб наменамояд; -наздиқ будан ба истеъмолкунанда ва набудани зарурати бунёди хатҳои барқи гаронарзиш, аз ҷумла дар ноҳияҳои душворгузару дурдасти кӯҳӣ; - имконияти ҷалби маблағҳои аҳоли, соҳибкорони миёна ва хурд; -барои азхудкунии ҳудудҳои нав имкониятҳои иловагиро мекушояд; -муҳлатҳои нисбатан кӯтоҳи истиҳсоли энергияи электрикӣ.
2	Техникӣ ва технологӣ	-истифодаи нақлиёти калонҳаҷми автомобилӣ, сохтмони роҳҳо барои нақлу ҳамаи техника ва маводҳои сохтмони сарбанд талаб карда намешавад; -соддагии танзими режими истифодабарӣ; -имконоти истифодабарии воситаҳои нақлиёти камқуввату тавоноӣ дар сохтмони НБОХ
3	Экологӣ	-мавҷуд набудани мавзёҳои зерибмонда ва нигоҳдории мавзёҳои табиӣ замини ҷангалҳо, флора ва фауна аз шӯршавӣ ва эрозия; -нигоҳдории мувозинату баробарвазнии экологӣ; -нигоҳдории сифати оби барои эҳтиёҷоти коммуналӣ ва обёрӣ таъингардида.
4	Иҷтимоӣ	-электрикунонии маҳаллаҳои аз коммуникатсияи асосӣ дур ҷойгирифта; -ташкили ҷойҳои кории нав ҷалби қувваи корӣ барои азхудкунӣ ва самараноктар истифода бурдани истеҳсолоти амалкунанда ва нав; -беҳтар гардонидани шароити иҷтимоӣ-маишӣ аҳоли.

**Ҷадвали 2.** НБОХ, ки дар тавозун ва хизматрасонии УСК “Барқи тоҷик” қарор доранд.

Минтақаи Рашт						
№ т/т	Номгуи НБОХ	Мавзёи ҷойгиршавӣ	Миқдори агрегатҳо ва тавоноии лоиҳавӣ (адал/кВт)	Соли ба истифода додан	Тавоноии воқеии миёнаи шабонарӯзӣ, (кВт.соат)	Ҳолати НБОХ
1	Сангиқар	н. Рашт	2x503	2011	166	Дар ҳолати корӣ қарор дорад, вале бо сабаби кам гаштани ҳаҷми оби дарёи Сангиқар бо тавоноии лоиҳавӣ қар намекунад

2	Шашболой	н. Нуро-бод	1x183	2010	-	Аз сабаи кам гаштани ҳаҷми оби дарёчаи Саидон, нерӯгоҳ кор намекунад
3	Фатҳобод	н. Тоҷи-кобод	1x282	2010	50	Дар ҳолати корӣ қарор дорад, вале бо сабаби кам гаштани ҳаҷми оби дарёи Фатҳобод бо тавоноии лоиҳавӣ кор намекунад
4	Питовкул-1	н. Лахш	2x230	1964	40	Дар ҳолати корӣ қарор дорад
5	Питовкул-2	н. Лахш	2x252	2012	397	Танҳо як агрегатш дар ҳолати корӣ қарор дорад
6	Тутак	н. Рашт	1x586	2013	358	Дар ҳолати корӣ қарор дорад, вале бо сабаби кам гаштани ҳаҷми оби дарёи Тутак бо тавоноии лоиҳавӣ кор намекунад
Минтақаи Кӯлоб						
1	Хорма	н. Балчу-вон	1x180	2011	-	Бо сабабҳои техникӣ дар ҳолати корношоямӣ қарор дорад
2	Пушти боғ	н. Балчу-вон	1x180	2018	25	Дар ҳолати корӣ қарор дорад, вале бо сабаби кам гаштани ҳаҷми оби дарёи Пушти боғ бо тавоноии лоиҳавӣ кор намекунад
Ноҳияҳои тобеъи марказ						
1	Ширкент	н. Турсун-зода	2x288	2011	210	Дар ҳолати корӣ қарор дорад, вале бо сабаби кам гаштани ҳаҷми оби дарёи Ширкент бо тавоноии лоиҳавӣ кор намекунад
2	Пазора-1	н. Варзоб	1x250	1999	-	Бо сабаби кам гаштани ҳаҷми оби дарёи Ҳазора кор намекунад

3	Ҳазора-2	н. Варзоб	1x250	2000	-	Бо сабаби кам гаштани ҳаҷми оби дарёи Ҳазора кор намекунад
Минтақаи Панҷакент						
1	Артуч	н. Панҷакент	1x500	2008	-	Бо сабабҳои техникӣ дар ҳолати корношоямӣ қарор дорад
2	Панҷруд	н. Панҷакент	1x500	2011	-	Бо сабабҳои техникӣ дар ҳолати корношоямӣ қарор дорад
3	Марзич	н. Айнӣ	3x1433	2011	-	Бо сабаби садамаи технологӣ дар ҳолати корношоямӣ қарор дорад
4	Дижик	н. Айнӣ	1x260	2011	-	Бо сабаби кам гаштани ҳаҷми оби дарёчаи Фондарё кор намекунад
5	Кӯҳистон-1	н. Мастчоҳи кӯҳӣ	1x500	2012	-	Бо сабаби ҳолати садамавии бинои асосӣ нерӯгоҳ кор намекунад.
6	Кӯҳистон-2	н. Мастчоҳи кӯҳӣ	1x500	2012	66	Дар ҳолати корӣ қарор дорад, вале бо сабаби кам гаштани ҳаҷми оби дарёчаи кӯҳистон бо тавоноии лоиҳавӣ кор намекунад

### Хулоса

Самараи мусбати экологӣ аз сохтмони НБОХ дар он аст, ки бинобар беҳтар шудани таъминот бо энергияи электрикӣ буридани дарахтону буттаҳои ҷангалҳо, ки ҳамчун сӯзишворӣ истифода бурда мешаванд, кам мешавад. Новобаста аз ин, баландшавии тарифи пешбинишуда, барои аксарияти аҳоли истифодаи энергияи электрикиро барои гарм кардани манзилашон ғайри имкон менамояд. Аз ҳамин сабаб, дар қатори сохтмони НБОХ, дар оянда рушди дастрастариҳои вариантҳои

таъмини аҳоли бо энергияи барои гармшавӣ хеле зарур мебошад.

### Адабиёт

1. Петров Г.Н., Ахмедов Х.М., Кабутов К., Каримов Х.С. Возможности использования возобновляемых источников энергии в Таджикистане // Изв. АН Республики Таджикистана. Отделение физ.-мат, хим., геол., тех. н., 2009. - №4. - С.53-58.
2. Курбонов Н.Б., Маджиди М., Расулзода Т.Х. Оценка потенциала альтернативных источников энергии на территории Таджикистана // Вестник Педагогического университета. Естественные науки, 2019. - №3-4 (3-4). - С.28-32. – EDN: ONFTVP



3. Курбонов Н.Б. Эффективное использование возобновляемых источников энергии в физико-географических условиях Таджикистана // Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология», 2021. - Т.1. - №2. - С.53-57. – EDN: YNEDJW
4. Курбонов Н.Б., Курбонов Г.Б. Использование возобновляемых источников энергии как фактор смягчения последствий изменения климата в горных условиях Таджикистана // Инновации в сельском хозяйстве. - Москва, 2016. - №1 (16). - С.191-195. – EDN: WYLZRZ
5. Курбонов Н.Б., Набиев Ш.М., Курбонов Г.Б., Эколого-экономическая оценка альтернативных источников энергии Таджикистана при изменении климата // Глобальные энергетические и экономические тренды / Под ред. С.В. Жукова. - М.: ИМЭМО РАН, 2019. - 194 с. - С161-169.
6. Петров Г.Н., Ахмедов Х.М. Малая гидроэнергетика Таджикистана. - Душанбе: Дониш, 2010 г. - 180 с.
7. Исследование и анализ технико-экономических и экологических характеристик и показателей малой гидроэнергетики в мире и России: Отчет /МЭИ (ТУ) / Рук. раб. В.И. Виссарионов.-М., 2002.-78 с.
8. Рахимӣ Ф., Курбон Н. Роғун - кафили рушди устувори экологӣ ва иқтисодии минтақа // Маҷаллаи илмӣ «Водные ресурсы, энергетика и экология», 2022. - Ч.2. - №4. - С.109-122. – EDN: SQDXTJ
9. Гарелина С.А., Давлатшоев С.К., Латышенко К.П., Обиджони Ш.К., Курбонов Н.Б. Повышение безопасности гидротехнических сооружений. Ч.2. На примере водохранилища Нурекской ГЭС на реке Вахш. Монография. - Химки: АГЗ МЧС России, 2021. - 192 с.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАЛАЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

Ализода А.А.<sup>1\*</sup>, Зувайдуллозода Ф.З.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Таджикский энергетический институт

\*Автор-корреспондент. E-mail: zuvaydullov71@mail.ru

**Аннотация.** В статье излагаются результаты теоретико-практических исследований предложенной темы, даются научные сведения об проблемах защиты окружающей среды, принятие глобального характера техногенная деятельность людей и её отрицательного влияния на всех сторон их жизнедеятельности и природы, уменьшения площади лесов, возрастания пустынь и парниковых выбросов в атмосферу в отдельных регионах, увеличения озоновых дыр в атмосфере. Вместе с тем, для поиска путей решения этих экологических проблем в энергетике через использования возобновляемых источников энергии, в том числе малой гидроэнергетики, предложены научные рекомендации.

**Ключевые слова:** защита окружающей среды, техногенная деятельность, глобальная, природа, леса, пустыня, парниковые газы, атмосфера, озоновые дыры, развития, энергетика, экология, безопасность, МГЭС, техническое масло, трансформатор, выключатель, вероятность, экономический, технический, социальный.

## ENVIRONMENTAL PROCESSES AND SMALL HYDROPOWER

Alizoda A.A.<sup>1\*</sup>, Zuvaydullovzoda F.Z.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tajik Energy Institute

\*Corresponding author. E-mail: zuvaydullov71@mail.ru

**Abstract.** The article presents the results of theoretical and practical research on the proposed topic, provides scientific information on the problems of environmental protection, the adoption of a global nature of man-made human activities and its negative impact on all aspects of their livelihoods and nature, reducing the area of forests, increasing deserts and greenhouse emissions into the atmosphere in certain regions, increasing ozone holes in the atmosphere. At the same time, scientific recommendations are proposed to find ways to solve these environmental problems in the energy sector through the use of renewable energy sources, including small hydropower.

**Keywords:** environmental protection, environmental protection, technogenic activity, global, nature, forests, desert, greenhouse gases, atmosphere, ozone holes, development, energy, ecology, safety, MSPP, technical oil, transformer, switch, probability, economic, technical, social.

**Маълумот дар бораи муаллифон:** Ализода Аҳмадҷон Абдуқодир – номзади илмҳои техники, мушовири ректори Донишқадаи энергетикаи Тоҷикистон, Тел.: (+992) 938-04-31-04; E-mail: [zuvaydullov71@mail.ru](mailto:zuvaydullov71@mail.ru), Зувайдуллозода Файзулло Зикир – номзади илмҳои педагогӣ, муовини ректор оид ба таълим ва идораи сифати таҳсилоти Донишқадаи энергетикаи Тоҷикистон, Тел.: (+992) 777-07-65-02; E-mail: [zuvaydullov71@mail.ru](mailto:zuvaydullov71@mail.ru).

**Сведения об авторах:** Ализода Ахмаджон Абдуқодир – кандидат технических наук, советник ректора Института энергетики Таджикистана, Тел.: (+992) 938-04-31-04; E-mail: [zuvaydullov71@mail.ru](mailto:zuvaydullov71@mail.ru), Зувайдуллозода Файзулло Зикир – кандидат педагогических наук, проректор учебы и управления качеством образования Института энергетики Таджикистана, Тел.: (+992) 777-07-65-02; E-mail: [zuvaydullov71@mail.ru](mailto:zuvaydullov71@mail.ru).

**Information about the authors:** Alizoda Akhmadjon Abdukodir – Candidate of Technical Sciences, Advisor to the Rector of the Institute of Energy of Tajikistan, Tel.: (+992) 938-04-31-04; E-mail: [zuvaydullov71@mail.ru](mailto:zuvaydullov71@mail.ru), Zuvaydullovzoda Fayzullo Zikir – Candidate of Pedagogical Sciences, Vice-Rector for Studies and Quality Management in Education of the Institute of Energy of Tajikistan, Tel.: (+992)-777-07-65-02; E-mail: [zuvaydullov71@mail.ru](mailto:zuvaydullov71@mail.ru).

УДК 556+550.42 (575.3)

## РЕКОГНИСЦИРОВОЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОД ГОРНЫХ ОЗЕР ИЗОТОПНЫМ МЕТОДОМ (ОЗЁРА САРЕЗ, ШАДАУ. ТАДЖИКИСТАН)

Шаймурадов Ф.И.<sup>1,\*</sup>, Ниязов Дж.Б.<sup>1</sup>,  
Абдушукуров Д.А.<sup>1</sup>, Курбон Н.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана

\*Автор-корреспондент: E-mail: sh.firdavs-80@mail.ru

**Аннотация.** Были проведены предварительные анализы стабильных изотопов воды в озере Сарез и ее сателлите - озере Шадау. На основании полученных данных установлен генезис (происхождение воды) в озерах Сарез и Шадау: для озера Сарез – атмосферные осадки (снег и дожди), выпадающие в долинной части Мургабской долины. Относительно оценки вклада ледников необходимы дополнительные исследования. Вода в озере Шадау образуется в основном за счет таяния ледников (ледниковая вода). В ранних научных исследованиях было выявлено, наличие гидрологической связи озер Сарез и Шадау. Исследованиями установлено, что на период исследований гидравлическая связь, но видимо при уменьшении высоты воды в озере Сарез эта связь может образоваться. Следовательно, необходимы комплексные гидрологические исследования озер, особенно в период паводков и межень.

**Ключевые слова:** изотопные методы, изотопный состав, стабильные изотопы, генезис, горный озер, Сарез, Шадау, Таджикистан.

### Введение

Сарезское озеро возникло в результате запруды реки Мургаб гигантским обвалом в 1911 г. [1-10]. Уровень озера очень медленно продолжает повышаться. В 1946 г. Сарезское озеро имело длину 61 км, наибольшую глубину 503 м, площадь 80 км<sup>2</sup> и объем воды около 17,0 млрд. м<sup>3</sup> [1, 8-10]. Из Сарезского озера река вновь возникает на 158-м км от устья реки в виде группы родников, залегающих на 160 м ниже зеркала озера в голове оврага, образовавшегося в теле Усойского завала. Первые 3-4 км река протекает по поверхности завала в нагромождениях глыб и обломочного материала. Далее река течет в долине, переходящей в 5 км выше с. Барчидев в теснину, заканчивающуюся у этого села. Ниже долина приобретает У-образную форму, которая сохраняется до слияния с р. Кудара. Поймы нет. Русло умеренно извилистое, неразветвленное. Ниже устья р. Кудара (в 18 км от Усойского завала) река получает название Бартанг и ее долина узкая [11]. Лишь в нижнем течении долина расширяется. Пойма реки развита только ниже устья р. Падруз.

### Объект исследования

В результате завала было образовано Сарезское озеро и рядом лежащее озеро сателлит Шадау рис. 1.

Первые исследования Сарезского озера были проведены русскими учеными в 1914 г. под руководством И.А. Преображенского [2-3]. До настоящего времени изучением озер занимались многие ученые и организации из СССР и России. Результаты ранних исследований хорошо описаны в работах Л.Попарина [5-9].

По данным Л.Попарина [5-9], в последнее время журналисты Таджикистана и Узбекистана широко обсуждают вопрос об использовании 17 км<sup>3</sup> чистой воды для целей водоснабжения. Уже предлагается построить 600 километровый трубопровод до Сарезского озера, планировали обеспечить водой 25 миллионов человек и была подсчитана огромная сумма прибыли. Хочу несколько разочаровать энтузиастов этой идеи. Чистейшая вода есть, но ее уже давно не 17 км<sup>3</sup>.



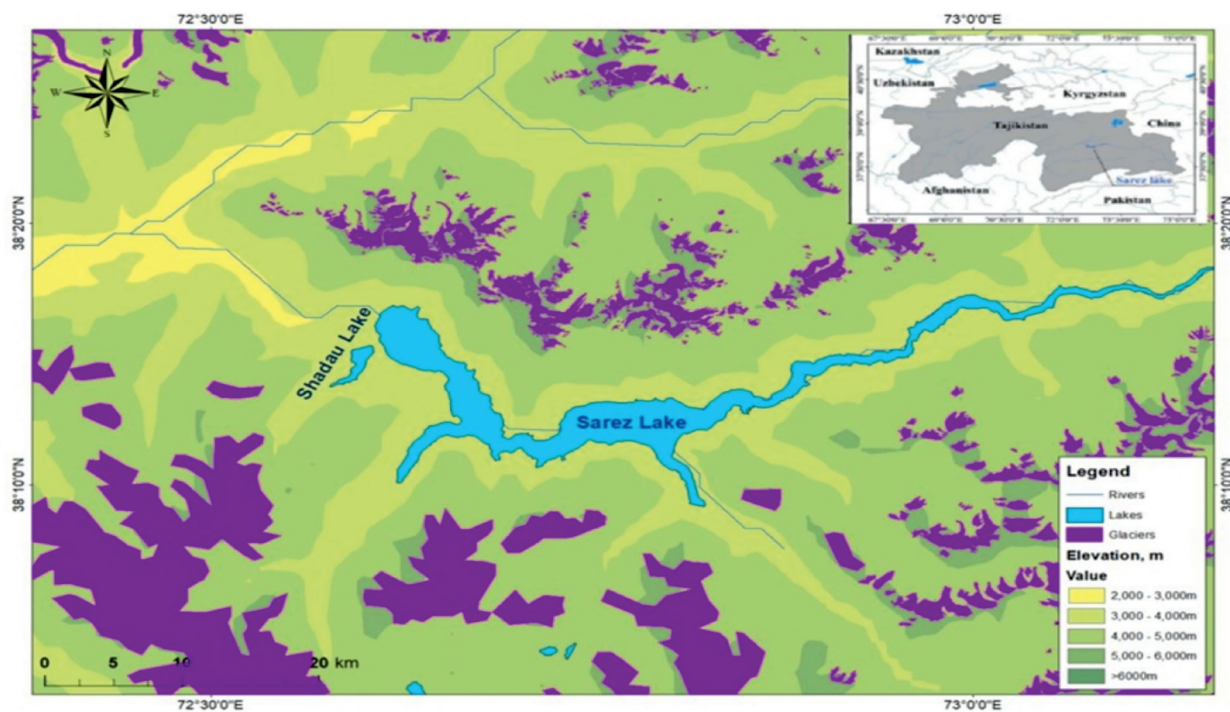


Рисунок 1. Схема озер Сарез и Шадау



Рисунок 2. Общий вид озер Сарез (справа)и Шадау(слева).  
В верхней части снимка Усойский завал. (снимок из интернета)

Первые исследования Сарезского озера были проведены русскими учеными в 1914 г. под руководством И.А. Преображенского [2-3]. До настоящего времени изучением озер занимались многие учен-

ные и организации из СССР и России. Результаты ранних исследований хорошо освещены в работах Л.Попарина [5-9].

По данным Л.Попарина [5-9], в последнее время журналисты Таджикистана



и Узбекистана широко обсуждают вопрос об использовании 17 км<sup>3</sup> чистой Сarezской воды для целей водоснабжения. Уже предлагается построить 600 километровый трубопровод до Сarezского озера, планировали обеспечить водой 25 миллионов человек и была подсчитана огромная сумма прибыли. Хочу несколько разочаровать энтузиастов этой идеи. Чистейшая вода есть, но ее уже давно не 17 км<sup>3</sup>.

В 1976, 1989 и 1990 годах в озерах Сarez и Шадау с помощью специальной аппаратуры были выполнены высокоточные измерения температуры и минерализации воды [5-9]. В Сarezском озере в 1976 году минерализация воды в интервале глубин 0-50 метров была равна 280 мг/л. Ниже этого горизонта минерализация воды увеличивалась и на глубинах 250 и более метров достигала – 1130-1150 мг/л. За прошедшие тридцать лет значение этого параметра повысилось. Сейчас минерализация в застойной зоне Сarezского озера равна 1380-1490 мг/л.

Так что ультрапресной воды с минерализацией 250-280 мг/л в обоих озерах уже

не 17, а 4-5 км<sup>3</sup> и находится она в верхней проточной части озер. Если в целях обеспечения безопасности уровень озер будет понижен на 50 метров, то ультрапресной воды в них не останется. Но качество и этого объема воды может существенно понизиться. Через перемычку озеро Шадау гидравлически связано с Сarezом. Цвет воды в озере Шадау зеленоватый, а рыба заражена солитером (цепнем), что характерно для застойных или мало проточных водоемов, т.е. озеро является источником инфекции [5-9].

### Результаты

Во время проведения комплексной экспедиции в августе месяце 2019 г., организованной Научно-исследовательским центром экологии и окружающей среды Центральной Азии НАН Таджикистана (Душанбе) на озере Сarez были отобраны четыре пробы воды из озёр Сarez и Шадау [1]. Для проведения изотопного анализа состава вод. Результаты анализа стабильных изотопов воды приведены в табл. 1 и в виде графика на рис. 3.

**Таблица 1.** Результаты анализа стабильных изотопов  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$ .

№	Место отбора проб	Места отбора	$^{18}\text{O}$ , в ‰	$^2\text{H}$ , в ‰
1	оз. Сarez, левый берег	озеро	-14.76	-109.4
2	оз. Сarez, середина	озеро	-14.92	-109.6
3	оз. Сarez, правый берег	озеро	-15.05	-110.8
4	оз. Шадау	озеро	-16.08	-119.2

Пробы анализировались на лазерном изотопном анализаторе Picarro L2110-i. Изотопные данные выражены в относительных единицах:

$$\delta X = (R_{\text{пр}}/R_{\text{ст}} - 1) \cdot 1000\text{‰},$$

где R – атомные отношения изотопов водорода ( $^2\text{H}/^1\text{H}$ ) или кислорода ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) в пробе (пр) и стандарте (ст), X – изотоп. Величина  $\delta$  показывает, насколько проба обед-

нена ( $\delta < 0$ ) или обогащена ( $\delta > 0$ ) тяжелыми изотопами относительно стандарта ( $\delta = 0$ ). В качестве эталона использовался стандарт средней океанической воды V-SMOW (Vienna Standard of the Mean Ocean Water), для которого по определению  $\delta^2\text{H} = 0\text{‰}$  и  $\delta^{18}\text{O} = 0\text{‰}$  (‰ – промилле, тысячная доля числа).

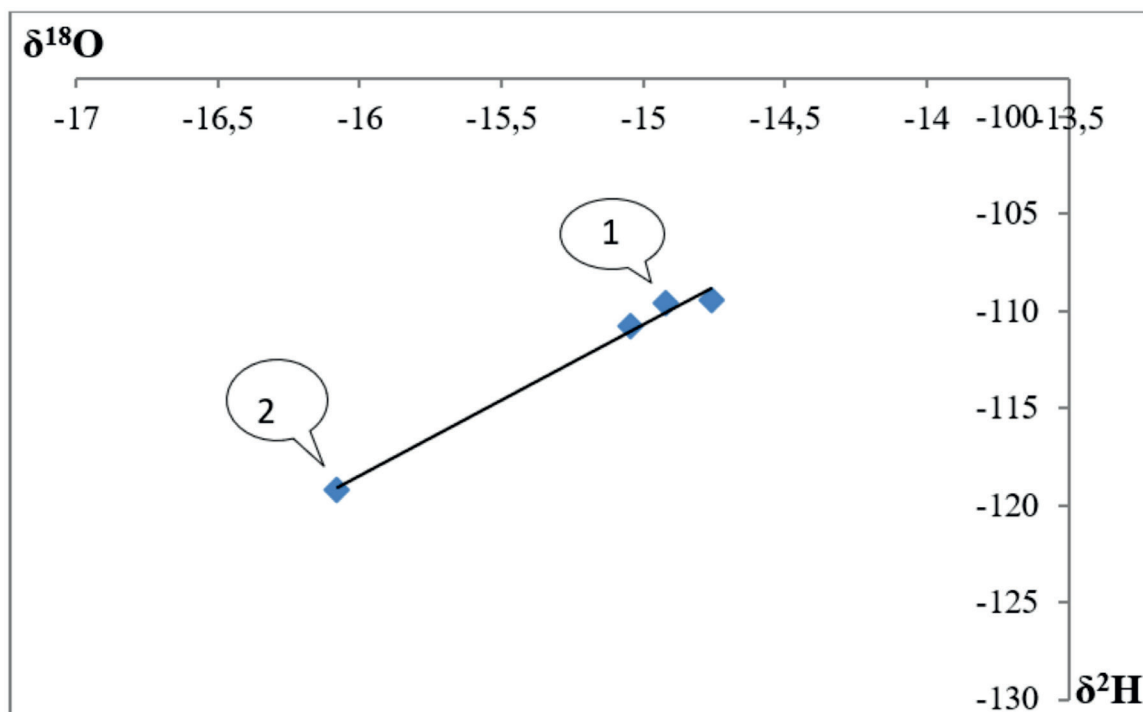


Рисунок 3. График результатов отношения стабильных изотопов  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  озёр Сарез (1) и Шадау (2)

**Выводы.** Как видно из графика исследуемые воды по изотопному составу отличаются и разделяются на две группы 1 и 2. В 1 группу входят воды из озера Сарез, а во второй группе вода из озера Шадау. Анализ содержания стабильных изотопов  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  показал, что вода из озера Шадау легче, чем вода из озера Сарез. Утяжеление стабильными изотопами состава воды в озере Сарез происходит за счет влияния ряда эффектов:

1. Вода в озере Сарез в основном образуется за счет атмосферных осадков (дождей и снега) выпадающих большей частью в низменных частях Мургабской долины (рис1), а в озере Шадау в основном за счет таяния ледников), при этом сказывается эффект высотного хода изотопного состава воды в атмосферных осадках, (изотопный состав воды становится легче с увеличением высоты выпадения осадков;

2. За счет испарения воды в реках, являющихся, основными источниками питания озера Сарез.

К сожалению, отобранные единичные пробы, не дают основания для оценки состояния озер. На наш взгляд следует организовать исследования по регулярному отбору проб и анализы стабильных изотопов в течение года.

Целесообразный вариант - организация многолетних, комплексных исследований.

Таким образом, полученные данные позволили утверждать следующее:

1. Генезис (происхождение) воды озера Сарез - в основном атмосферные осадки (снег и дожди), выпадающие в долинной части Мургабской долины.

2. Генезис (происхождение) воды озера Шадау - в основном таяние ледников (ледниковая вода).

3. Необходимо провести дополнительные исследования по выявлению гидрологической связи озера Сарез и Шадау, в частности в период паводков и межени.

#### Литература

1. Курбонов Н.Б., Кобули З.В., Шаймурадов Ф.И., Фрумин Г.Т., Рахимов И.М. Сравнение физико-химического свойства и изотопного

- состава воды некоторых озер и рек Таджикистана // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: материалы XXXII молодежной научной школы-конференции. - Петрозаводск, 12-15 октября 2021 г. - С.95-98. – EDN: CGKZDS
2. Шпилько. Землетрясение 1911 г. на Памире и его последствия // Известия Императорского Русского географического общества. - Том L. - Петроград, 1914.
  3. Шпилько. Новые сведения об Усойском завале и Сарезском озере // Известия Турк. ОТД. И.Р.Г.О. - Том XI. - Ташкент, 1915.
  4. Ланге О.К. Экспедиция по обследованию Усойского завала и Сарезского озера // Народное хозяйство Средней Азии, 1926. - №10. - С.76-79.
  5. Папырин Л.П. и др. Отчет Гидрогеофизической партии о результатах рекогносцировочных работ, проведенных в 1969 году в северной части Усойского завала на Центральном Памире (геофизические работы). - Душанбе, 1970.
  6. Папырин Л.П. и др. Отчет о инженерно-геологических исследованиях в районе Сарезского озера и долин рек Мургаб и Бартанг за 1975-1977 годы (геофизические работы). - Душанбе, 1977.
  7. Папырин Л.П., Шалюпа Л.А. Результаты инженерно-геологических исследований для прогноза дальнейшего развития оползней в нижней части Сарезского озера за 1982-1984 годы (геофизические работы). - Душанбе, 1984.
  8. Leonid Papyrin. Central Asias terrible dracon // Science in Russia, 2002. - No.1. - PP.42-52.
  9. Leonid Papyrin. Myths on Lake Sarez risk mitigation and realities // URL: <http://enews.ferghana.ru/article.php?id=2079&print=1&PHPSESSID=f221277e0b802c371c5fef5a690c5244>
  10. Robert L. Schuster and Donald Alford. Usoi Landslide Dam and Lake Sarez, Pamir Mountains, Tajikistan // Environmental and Engineering Geoscience, May 2004. - V.10. - No.2. - PP.151-168 – DOI: 10.2113/10.2.151
  11. Неккадамова Н.М., Мирзохонова С.О., Курбонов Н.Б. Изменения климата бассейна реки Бартанг при глобальном потеплении // Материалы Международной научно-практической конференции «Гидрометеорологические исследования в условиях изменения климата: актуальные проблемы и пути их решения». - Ташкент, 3-4 июня 2022 г. - С.141-145.

## УСУЛҲОИ ИЗОТОПИИ ТАДЖИҚИ РЕКОГИСТСИРОВАНИИ ОБИ КЎЛҲОИ КЎҲИИ (КЎЛҲОИ САРЕЗ, ШАДА, ТОҶИКИСТОН)

**Шаймуродов Ф.И.<sup>1,\*</sup>, Ниязов Ч.Б.<sup>1</sup>,  
Абдушукуров Д.А.<sup>1</sup>, Курбон Н.Б.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

\*Муаллифи масъул: E-mail: [sh.firdavs-80@mail.ru](mailto:sh.firdavs-80@mail.ru)

**Шарҳи мухтасар.** Таҳлили изотопҳои устувори ибтидоии оби кӯли Сарез ва кӯли ҳавшафати он – кӯли Шадда гузаронида шуд. Дар асоси далелҳои бадастомада, манбаи (пайдоиши) об дар кӯлҳои Сарез ва Шадда муайян карда шуд: барои кӯли Сарез боришоти атмосфера (барф ва борон) мебошад, ки дар қисмати водиги Мурғоб мебарад. Барои арзёбии саҳми пирахҳо тадқиқоти иловагӣ лозим аст. Оби кӯли Шадда асосан аз обишави пирахҳо (оби пирахӣ) ташаккул меёбад. Дар тадқиқоти илмӣ аввал робитаи гидрологӣ байни кӯлҳои Сарез ва Шадда ошкор карду шаданд. Тадқиқот муайян карданд, ки дар давраи тадқиқот робитаи гидравликӣ вуҷуд дорад, вале эҳтимол дорад, ки ин робита бо камшави сатҳи об дар кӯли Сарез ба вуҷуд ояд. Бинобар ин, тадқиқоти ҳамаҷонибаи гидрологии кӯлҳо, махсусан дар давраҳои обхезӣ ва камобӣ, заруранд.

**Калидвожаҳо:** усулҳои изотопӣ, таркиби изотопӣ, изотопҳои устувор, генезис, кӯлҳои кӯҳӣ, Сарез, Шадда, Тоҷикистон.

## RECONNAISSANCE STUDIES OF MOUNTAIN LAKE WATERS USING THE ISOTOPE METHOD (LAKES SAREZ, SHADAU. TAJIKISTAN)

Shaimuradov F.I.<sup>1,\*</sup>, Niyazov J.B.<sup>1</sup>,  
Abdushukurov D.A.<sup>1</sup>, Kurbon N.B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan

\*Corresponding author: E-mail: sh.firdavs-80@mail.ru

**Abstract.** Preliminary stable isotope analyses of water in Lake Sarez and its satellite lake, Shadau, were conducted. Based on the data obtained, the following conclusions can be drawn: the genesis (origin) of the water in Lakes Sarez and Shadau has been established: for Lake Sarez, this is primarily atmospheric precipitation (snow and rain) falling in the valley part of the Murghab Valley. Further research is needed to assess the contribution of glaciers. The water in Lake Shadau is formed primarily by glacial melt (glacial water); earlier scientific studies established that Lakes Sarez and Shadau are hydrologically connected. Our research shows that the lakes are currently not hydraulically connected, but that such a connection may develop with a decrease in the water level in Lake Sarez. Thorough hydrological studies of the lakes during flood and low-water periods are needed.

**Key words:** isotope methods, isotopic composition, stable isotopes, genesis, mountain lake, Sarez, Shadau, Tajikistan.

**Маълумот оид ба муаллифон:** Шаймурадов Фирдавс Иноятovich – номзади илмҳои техникӣ, мудири озмоишгоҳи сифати об ва экологияи Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 888-88-82-20, E-mail: sh.firdavs-80@mail.ru; Ниязов Ҷафар Баҳодурович - номзади илмҳои таърих, ходими пешбари илмии озмоишгоҳи моделкунонии захираҳои об ва равандҳои иқлими Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 93-565-07-77, E-mail: niyazovjafar@mail.ru. Абдушукуров Ҷамшед Алиевич – номзади илмҳои физикаю математика, ходими калони илмии озмоишгоҳи сифати об ва экологияи Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 919-00-08-32, E-mail: abdushukurov.dj@gmail.com; Курбон Номвар Бойназар - номзади илмҳои техникӣ, дотсент, мудири озмоишгоҳи моделкунонии захираҳои об ва равандҳои иқлими Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 934748866, E-mail: knomvarb.0502@gmail.

**Сведения об авторах:** Шаймурадов Фирдавс Иноятovich – кандидат технических наук, заведующий лабораторией качества воды и экологии Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: (+992) 888-88-82-20, E-mail: sh.firdavs-80@mail.ru; Ниязов Джафар Баходурович — кандидат исторических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории моделирования водных ресурсов и климатических процессов Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: (+992) 93-565-07-77, E-mail: niyazovjafar@mail.ru; Абдушукуров Джамшед Алиевич - кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории качества воды и экологии Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: (+992) 919-00-08-32, E-mail: abdushukurov.dj@gmail.com; Курбон Номвар Бойназар - кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией моделирования водных ресурсов и климатических процессов Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: (+992) 934748866, E-mail: knomvarb.0502@gmail.

**Information about the authors:** Shaimuradov Firdavs Inoyatovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Water Quality and Ecology of The Institute Of Water Problems, Hydropower And Ecology Of The National Academy Of Sciences of Tajikistan, Tel.: (+992) 888-88-82-20, E-mail: sh.firdavs-80@mail.ru; Niyazov Jafar Bakhodurovich - Candidate of Historical Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Modeling Water Resources and Climate Processes of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tel.: (+992) 93-565-07-77, E-mail: niyazovjafar@mail.ru; Abdushukurov Jamshed Alievich - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Water Quality and Ecology of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tel.: Telephone: (+992) 919-00-08-32, E-mail: abdushukurov.dj@gmail.com; Kurbon Nomvar Boynazar – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Modeling Water Resources and Climate Processes at the Institute of Water Problems,



УДК: 556.51:551.579.1

## СТАБИЛЬНЫЕ ИЗОТОПЫ КИСЛОРОДА И ВОДОРОДА КАК ИНДИКАТОР ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВЕРХОВЬЯ АМУДАРЬЯ (изотопный состав реки Сурхоб в 2024-2025 гг.)

Каюмова Д.А.<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников» Национальной академии наук Таджикистана

<sup>2</sup>Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана

\*Автор-корреспондент. E-mail: diliorom@yahoo.com

**Аннотация.** По уникальному двухлетнему массиву из 47 проб впервые проведён количественный сравнительный анализ стабильных изотопов кислорода и водорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ) и параметра дефицит дейтерия ( $d\text{-excess}$ ) реки Сурхоб – крупнейшего притока Амударьи. Установлено, что средний  $\delta^{18}\text{O}$  в 2025 г. обогатился на 0,53 ‰ по сравнению с 2024 г. ( $p < 0,02$ ), тогда как  $d\text{-excess}$  снизился с 15,34 до 14,88 ‰. Доля ледникового компонента в стоке уменьшилась с  $28 \pm 5 \%$  до  $17 \pm 4 \%$ , а доля дождевого возросла с  $14 \pm 3 \%$  до  $23 \pm 4 \%$ . Полученные изменения согласуются с аномально тёплой зимой 2025 г. и усилением весенней циклонической активности над Памиро-Алаем. Результаты подтверждают возможность использования зимнего  $\delta^{18}\text{O}$  в качестве прокси-индикатора межгодовой изменчивости водности бассейна с предсказательным горизонтом 2–3 месяца.

**Ключевые слова:** река Сурхоб, ледниковое питание, дождевой сток, Памиро, климат.

### Введение

Бассейн верхней Амударьи, формируемый за счёт таяния ледников и атмосферных осадков Памира и Тянь-Шаня, представляет собой зону активного взаимодействия климата и гидрологии. Река Сурхоб, являясь крупнейшим левобережным притоком Амударьи, обеспечивает до 28 % её годового стока и служит естественным индикатором изменений в структуре источников питания. Сезонная и межгодовая изменчивость изотопного сигнала ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  и  $d\text{-excess}$ ) в речной воде отражает не только метеорологические условия в бассейне, но и пространственно-временную реструктуризацию вклада ледникового, снежного и дождевого компонентов [2; 4].

До настоящего времени изотопные исследования в бассейне Сурхоба носили эпизодический характер и не охватывали полный годовой цикл. Цель настоящей работы – восполнить этот пробел и количественно оценить, как меняется соотношение источников питания на фоне недавних климатических аномалий. Мы использовали уникальный двухлетний массив ежемесячных проб

(2024-2025 гг.) и применили современные методы изотопно-гидрографического разделения стока.

**Материалы и методы.** Выборка и анализ. В период с января 2024 по март 2025 г. в реке Сурхоб в районе Ляхша отобрано 47 проб поверхностной воды (2024 г. – 35 проб, 2025 г. – 12). Пробоотбор проводился в середине каждого месяца методом «одиночного вычерпывания» в полиэтиленовые флаконы 50 мл с тройным ополаскиванием. В течение 24 ч пробы доставлялись в лабораторию Качества воды изотопов «Цента изучения ледников НАНТ» и хранились при  $+4^\circ\text{C}$  до анализа. Изотопные соотношения  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  измерялись на лазерном спектрометре Picarro L2140-i с точностью  $\pm 0,08$  и  $\pm 0,5 \%$  соответственно. Контроль качества включал triplicate-измерения каждой пятой пробы и параллельный прогон международных стандартов VSMOW2, SLAP2. Для исключения выбросов применён итеративный Grubbs-тест ( $p < 0,05$ ); в итоговую выборку не попала одна проба W-1306 ( $\delta^{18}\text{O} = -10,89 \%$ ), зарегистрированная во время кратковременного ливневого пика 20 сентября 2024 г.

Статистика и разделение стока. Для оценки вклада ледникового и дождевого компонентов использована двухкомпонентная изотопная модель [3]:

$$Q_{glac} = (\delta_{river} - \delta_{rain}) / (\delta_{glac} - \delta_{rain}) \cdot Q_{river},$$

где  $\delta_{glac} = -16,0 \text{ ‰}$  (среднее для ледниковых стоков Памира по [1]),  $\delta_{rain} = -10,3 \text{ ‰}$  (среднее для дождевых осадков в бассейне по [9-10]). Неопределённость расчёта оценивалась методом Монте-Карло (10 000 реализаций).

**Результаты.** Статистические характеристики выборки приведены в таблице 1. Средний  $\delta^{18}O$  в 2024 г. составил  $-14,38 \pm 1,12 \text{ ‰}$ , в 2025 г.  $-13,85 \pm 1,38 \text{ ‰}$ ; различие значимо на уровне  $p < 0,02$  (t-критерий Стьюдента). Аналогично, средний  $\delta^2H$  изменился от  $-99,7 \pm 8,4$  до  $-95,9 \pm 10,2 \text{ ‰}$ . Параметр d-excess снизился с  $15,34 \pm 1,28$  до  $14,88 \pm 1,55 \text{ ‰}$ , однако это снижение достоверно не значимо ( $p = 0,12$ ). Коэффициент вариации  $\delta^{18}O$  возрос с 7,8 до 10,0 %, что указывает на усиление межмесячной неоднородности источников питания в 2025 г.

Таблица 1. Статистические характеристики изотопного состава реки Сурхоб (2024 и 2025 гг.)

Table <span>Copy</span>					
Год	n	$\delta^{18}O, \text{ ‰} (M \pm \sigma)$	$\delta^2H, \text{ ‰} (M \pm \sigma)$	d-excess, ‰ (M ± σ)	Коэффициент вариации $\delta^{18}$
2024	35	$-14,38 \pm 1,12$	$-99,7 \pm 8,4$	$15,34 \pm 1,28$	7,8
2025	12	$-13,85 \pm 1,38$	$-95,9 \pm 10,2$	$14,88 \pm 1,55$	10,0

**Примечание:** n – число проб;  $\sigma$  – стандартное отклонение; различия средних  $\delta^{18}O$  и  $\delta^2H$  между годами значимы (t-критерий Стьюдента,  $p < 0,02$ ).

Линейная регрессия для 2024 г. даёт уравнение  $\delta^2H = 7,42 \delta^{18}O + 6,85$  ( $R^2 = 0,97$ ), для 2025 г. –  $\delta^2H = 7,38 \delta^{18}O + 5,90$  ( $R^2 = 0,96$ ). Смещение LMWL 2025 г. в область менее «положительных» значений пересечения с осью ординат отражает увеличение доли конденсированной влаги, сформированной при более низких температурах конденсации [5-8].

Сезонная динамика. В январе 2025 г. зафиксирован минимальный  $\delta^{18}O -14,50 \pm 0,20 \text{ ‰}$ , что на 0,40 ‰ тяжелее аналогичного периода 2024 г. и коррелирует с аномально тёплым январем 2025 г. (средняя температура  $-10,2 \text{ °C}$  против  $-13,4 \text{ °C}$  в 2024 г.). В период пика таяния (июнь–сентябрь) 2024 г. наблюдался выраженный «ледниковый» сигнал ( $\delta^{18}O$  до  $-16,01 \text{ ‰}$ , d-excess  $\leq 14 \text{ ‰}$ ), тогда как в 2025 г. минимальные значения  $\delta^{18}O$  не опускались ниже  $-14,51 \text{ ‰}$ , а d-excess оста-

вался выше 15 ‰. Это свидетельствует о более раннем и интенсивном включении дождевого компонента.

Доля компонентов стока. По данным двухкомпонентной модели, доля ледникового стока в 2024 г. составляла  $28 \pm 5 \text{ ‰}$ , в 2025 г. -  $17 \pm 4 \text{ ‰}$ . Снижение на 11 % статистически значимо ( $p < 0,01$ ). Одновременно доля дождевого стока возросла с  $14 \pm 3 \text{ ‰}$  до  $23 \pm 4 \text{ ‰}$ . Полученные оценки согласуются с независимыми данными о снижении высоты снежного покрова в марте 2025 г. на 13 % по сравнению с 2024 г. [7].

Климатические телесвязи. Для зимних (декабрь–февраль) значений  $\delta^{18}O$  выявлена устойчивая отрицательная корреляция с индексом Северно-Атлантического колебания (NAO):  $r = -0,71$  ( $p < 0,01$ ) для 2025 г. и  $r = -0,67$  ( $p < 0,01$ ) для 2024 г. Отрицательное значение коэффициента отражает усиление

ние атлантического транспорта влаги при положительной фазе NAO, что повышает d-excess за счёт вторичной эвапорации над Средней Азией [7].

**Обсуждение.** Полученные данные впервые количественно подтверждают, что даже за один год происходит существенная перестройка структуры источников питания Сурхоба. Снижение ледникового вклада на 11 % при одновременном росте дождевого на 9 % означает, что в 2025 г. бассейн перешёл к режиму с преобладанием «быстрого» стока. Это согласуется с выводами работы [9-10], где для соседнего бассейна Вахш показано, что при росте среднегодовой температуры всего на 0,8 °C доля ледникового стока может снижаться на 6–10 %. Наши результаты демонстрируют ещё более резкое изменение, что, вероятно, связано с аномально тёплой зимой 2025 г. и ранним началом сезона таяния.

Увеличение коэффициента вариации  $\delta^{18}\text{O}$  в 2025 г. указывает на усиление «пульсирующего» режима стока: короткие, но интенсивные дождевые импульсы перемежаются с периодами низкого ледникового питания. Подобная динамика повышает риск внезапных летних паводков и снижает базовую стратегию стока, что важно для прогноза водных ресурсов и эксплуатации гидроэлектростанций каскада Вахш.

Наконец, выявленная телесвязь с NAO позволяет рассматривать зимний  $\delta^{18}\text{O}$  как потенциальный прокси-индикатор межгодовой изменчивости водности Сурхоба с предсказательным горизонтом 2-3 месяца. Это согласуется с результатами [7], полученными для бассейна Нарын, где аналогичная корреляция использовалась для долгосрочного прогноза весеннего половодья.

### Выводы

1. Средний  $\delta^{18}\text{O}$  реки Сурхоб в 2025 г. обогатился на 0,53 ‰ по сравнению с 2024 г., что отражает снижение доли ледникового стока с  $28 \pm 5 \%$  до  $17 \pm 4 \%$ . Увеличение дождевого вклада (с  $14 \pm 3 \%$  до  $23 \pm 4 \%$ ) и рост коэффициента вариации  $\delta^{18}\text{O}$

свидетельствуют о переходе бассейна к режиму преимущественно «быстрого» стока, что повышает риски внезапных паводков. Зимний  $\delta^{18}\text{O}$  демонстрирует устойчивую отрицательную связь с индексом NAO ( $r = -0,71$ ), что позволяет рассматривать его как прокси-индикатор межгодовой изменчивости стока Сурхоба с предсказательным горизонтом 2–3 месяца.

### Основные выводы

1. Средний изотопный сигнал реки Сурхоб в 2025 г. сместился к более «тяжёлым» значениям:  $\delta^{18}\text{O}$  обогатился на 0,53 ‰, что статистически значимо ( $p < 0,02$ ) и отражает сокращение доли ледникового стока с  $28 \pm 5 \%$  до  $17 \pm 4 \%$ .

2. Одновременно увеличился вклад дождевого компонента (с  $14 \pm 3 \%$  до  $23 \pm 4 \%$ ), что сопровождалось ростом коэффициента вариации  $\delta^{18}\text{O}$  с 7,8 до 10,0 ‰; это свидетельствует о переходе бассейна к режиму преимущественно «быстрого» стока и повышает риски внезапных летних паводков.

3. Зимний  $\delta^{18}\text{O}$  демонстрирует устойчивую отрицательную корреляцию с индексом Северно-Атлантического колебания (NAO;  $r = -0,71$ ,  $p < 0,01$ ), что позволяет рассматривать его как потенциальный прокси-индикатор межгодовой изменчивости водности Сурхоба с предсказательным горизонтом 2–3 месяца.

### Литература

1. Abdushukurov D. A., Lentschke J., Shaymuradov F. I., Emomov K. F. Genesis of surface water in the Vakhsh River basin (Tajikistan) using stable isotope approach // *Isotopes in Hydrology and Climate Studies : материалы междунар. конф.* – Душанбе, 2023. – С. 45–46.
2. Aggarwal P. K., Froehlich K. F., Gat J. R. *Isotopes in the Water Cycle.* – Dordrecht: Springer, 2005. – 381 p.
3. Bowen G. J., Cai Z., Fiorella R. P. et al. Isotopes in the water cycle: regional-to-global-scale patterns and applications // *Earth-Sci. Rev.* – 2019. – V. 197. – 102893.
4. Galewsky J., Steen-Larsen H. C., Field R. D. Stable isotopes in atmospheric water vapor and applications to the hydrologic cycle // *Rev. Geophys.* – 2016. – V. 54. – P. 809–865.

5. Gat J. R., Mook W. G., Meijer H. A. J. Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle. – Paris : UNESCO/IAEA, 2001. – 280 p.
6. Bailey H. L., Welker J. M., Klein E. S. Synoptic and mesoscale mechanisms drive winter precipitation  $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$  in south-central Alaska // J. Geophys. Res. – 2019. – V. 124. – P. 4252-4266.
7. Kurita N., Noone D., Risi C. Isotopic fractionation of water during snow formation and subsurface processes // J. Geophys. Res. – 2004. – V. 109. – D24107.
8. Vachon R. W., Welker J. M., White J. W. C. Monthly precipitation isoscapes ( $\delta^{18}\text{O}$ ) of the United States: connections with surface temperatures and moisture source // J. Geophys. Res. – 2010. – V. 115. – D21126.
9. Курбонов Н.Б., Фрумин Г.Т., Норматов И.Ш., Кобулиев З.В., Муминов А.О., Одинаев К.Н. Гидрохимия изотопов водорода ( $\delta^2\text{H}$ ) и кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) поверхностных вод зоны формирования реки Вахш // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: материалы XXXI молодежной научной школы-конференции. – Санкт-Петербург, 5-9 октября 2020 г. – С.135-140.
10. Курбонов Н.Б., Кобули З.В., Шаймурадов Ф.И., Фрумин Г.Т., Рахимов И.М. Сравнение физико-химического свойства и изотопного состава воды некоторых озер и рек Таджикистана // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: материалы XXXII молодежной научной школы-конференции. – Петрозаводск, 12-15 октября 2021 г. – С.95-98. – EDN: CGKZDS.

## ИЗОТОПҲОИ УСТУВОРИ ОКСИГЕН ВА ГИДРОГЕН ҲАМЧУН НИШОНДИҲАНДАИ ТАҒЙИРОТ ДАР РЕҶАИ ГИДРОЛОГИИ БОЛООБИ АМУДАРЁ (таркиби изотопии дарёи Сурхоб дар солҳои 2024-2025)

Қаюмова Д.А.<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>Муассисаи давлатии илмӣ «Маркази омӯзиши тиряхҳо»-и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

<sup>2</sup>Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана

\*Муаллифи масъул. E-mail: diliorom@yahoo.com

**Шарҳи мухтасар.** Барои гузаронидани аввалин таҳлили муқоисавии миқдории изотопҳои устувори оксиген ва гидроген ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ) ва норасоии дейтерий ( $d$ -барзиёд) дар дарёи Сурхоб, бузургтарин шохоби Амударё, истифода шудааст. Муайян карда шуд, ки миёнаи  $\delta^{18}\text{O}$  дар соли 2025 нисбат ба соли 2024  $0,53\text{‰}$  афзоиш ёфтааст ( $p < 0,02$ ), дар ҳоле ки  $d$ -барзиёд аз  $15,34$  то  $14,88\text{‰}$  коҳиш ёфтааст. Қиссаи ҷараёни яхбандӣ аз  $28 \pm 5\%$  то  $17 \pm 4\%$  коҳиш ёфтааст, дар ҳоле ки ҳиссаи боришот аз  $14 \pm 3\%$  то  $23 \pm 4\%$  афзоиш ёфтааст. Тағйироти мушоҳидашуда бо зимистони гарми ғайримуқаррари соли 2025 ва фаволяти циклонӣ баҳори афзоянда дар Помиру Олой мувофиқанд. Натиҷаҳо имкони истифодаи  $\delta^{18}\text{O}$  зимистонро ҳамчун нишондиҳандаи тағйирёбии байнисолаи миқдори оби ҳавза бо уфуқи пешгӯии 2-3 моҳа тасдиқ мекунанд.

**Калидвожаҳо:** дарёи Сурхоб, гизогии тиряхӣ, ҷараёни боришот, Помир, иқлим.

## STABLE ISOTOPES OF OXYGEN AND HYDROGEN AS AN INDICATOR OF CHANGES IN THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE UPPER AMU DARYA (isotopic composition of the Surkhob River in 2024-2025)

Kayumova D.A.<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>State Scientific Institution «Center for Research of Glaciers» National Academy of Sciences of the Tajikistan

<sup>2</sup>Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan

\*Corresponding author. E-mail: diliorom@yahoo.com

**Abstract.** A quantitative comparative analysis of stable oxygen and hydrogen isotopes ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ) and the deuterium deficit parameter ( $d$ -excess) in the Surkhob River, the largest tributary of the Amu Darya, was conducted for the first time using a unique two-year dataset of 47 samples. It was found that the average  $\delta^{18}\text{O}$  in 2025 increased by  $0.53\text{‰}$  compared to 2024 ( $p < 0.02$ ), while  $d$ -excess decreased from  $15.34$  to  $14.88\text{‰}$ . The share of the glacial component in runoff decreased from  $28 \pm 5\%$  to  $17 \pm 4\%$ , and the share of rainfall increased from  $14 \pm 3\%$  to  $23 \pm 4\%$ . The observed changes are consistent with the anomalously warm winter of 2025 and increased spring cyclonic activity over the Pamir-Alai. The results confirm the potential of using winter  $\delta^{18}\text{O}$  as a proxy for interannual variability in basin water content with a 2-3-month forecast horizon.

**Key words:** Surkhob River, glacial feeding, rainfall runoff, Pamir, climate.



**Маълумот дар бораи муаллиф:** Қаюмова Дилором Абдухамидовна – номзади илмҳои тиб, ходими пешбари илми Лабораторияи сифати об, изотопҳо ва санитарияи Муассисаи давлатии илми «Маркази омӯзиши пирахҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон», Почтаи электронӣ: diliorom@yahoo.com.

**Сведение об авторе:** Каюмова Дилором Абдухамидовна – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории качества воды изотопов и санитарии ГНУ «Центра изучения ледников НАНТ», E-mail: diliorom@yahoo.com.

**Information about the author:** Kayumova Dilorom Abdukhamidovna – candidate of medical sciences, leading researcher of the Laboratory of water quality, isotopes and sanitation of the State Scientific Institution «Center for Research of Glaciers» of the National Academy of Sciences of Tajikistan, E-mail: diliorom@yahoo.com.

УДК 550.4:556.314(575.3)

## ТАҲЛИЛИ ХУСУСИЯТҲОИ ФИЗИКИЮ ХИМИЯВИИ ОБ ДАР МИСОЛИ ҲАВЗАИ ДАРӢИ КОФАРНИҲОН

Боев М.Р.<sup>1,\*</sup>, Қурбон Н.Б.<sup>1,2</sup>, Қурбонов М.<sup>1</sup>, Нурув А.У.<sup>2</sup>, Шарифов Ф.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институтҳои масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

<sup>2</sup>Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

\*Муаллифи масъул: E-mail: boev93@internet.ru

**Шарҳи мухтасар.** Мақсади гузаронидани тадқиқот муайян намудани омилҳои физикию химикӣ об, аз ҷумла таркиби намак ва оксиген, рН ва ноқилияти ҳоси оби дарӢи Кофарниҳон бо назардошти масъалаҳои гидрохимия ва экология мебошад. Ин имкон медиҳад, ки минбаъд барои муқаррар намудани ҳолати таркиб ва миқдори унсурҳои хурди дар таркиби об мавҷуда бо муайянсозии қонуниятҳои паҳншавии онҳо тадқиқот бурда шавад. Гирифтани намунаҳо дар давраи серобӣ (моҳҳои май-июн) амалӣ шуда буд. Ченкунии хусусиятҳои физикию химиявии обҳои шохобҳои дарӢи Кофарниҳон гузаронида шуд.

**Калидвожаҳо:** дарӢи Кофарниҳон, намак, оксиген, рН, ноқилияти ҳос, консентратсия, коррелятсия, омилҳои физикию химиявии об.

### Введение

Дар таҷрибаи мавҷудаи ҷомеаи ҷаҳонӣ барои муайян намудани сифати об дар дарӢ, кӯл ва обанборҳо стандартҳои гуногун истифода мешаванд, зеро оби ифлосро ба якҷанд синф тасниф менамоянд [1]. Ин таснифот ба фосилаҳои индекси ҳоси оби ифлос, ба дараҷаи миқдори нишондиҳандаҳои ифлосшавӣ асос ёфтааст. Консентратсияҳои ҳадди имконпазири (КХИ) моддаҳои химиявӣ тавассути «Меъёрҳои гигиенӣ (МГ 2.1.5.1315-03)», аз ҷумла, намакҳои дар таркиби оби иншоотҳои обии хоҷагидорию нӯшокӣ ва фароғатӣ маишӣ мавҷудбуда, муайян карда мешавад [2].

Мақсади гузаронидани тадқиқот муайян намудани омилҳои физикию химия-

вии об, аз ҷумла таркиби намак ва оксиген, рН ва ноқилияти ҳоси об дар ҳавзаи дарӢи Кофарниҳон бо назардошти масъалаҳои гидрохимия ва экология мебошад. Чунин тадқиқот имкон медиҳад, ки минбаъд барои муқаррар намудани ҳолати таркиб ва миқдори унсурҳои хурди дар таркиби об мавҷуда бо муайянсозии қонуниятҳои паҳншавии онҳо пажӯҳиш бурда шавад.

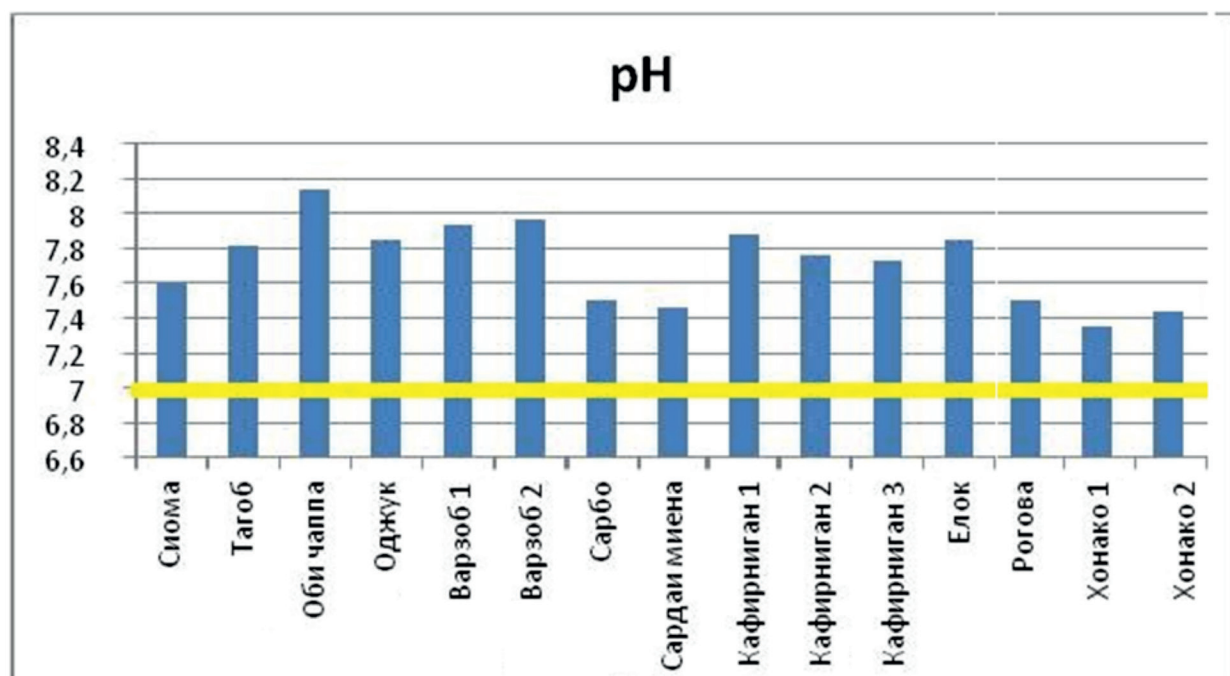
Ҳангоми гирифтани намунаҳо, ки дар давраи серобӣ (моҳҳои май-июн) амалӣ шуда буд, дар ҷойи гирифтани намунаҳо таҳлили хусусиятҳои физикӣ-химиявии об гузаронида шуд [3-5]. Натиҷаҳо тавассути асбоби «Hydrolab» навъи DS-5 (ИМА) хусусиятҳои асосии об, ки дар ҷадвали 1 оварда шудааст, чен карда шуданд.

Цадвали 1. Хусусиятҳои физикӣ-химиявии об дар дарёи Кофарниҳон

Дарёҳо	pH	Намакҳо (мг/л)	Мод. маҳл. (мг/л)	Нокилияти хос (мС/см)	Редокс- потенциал (мВ)	O <sub>2</sub> маҳл. (%)	O <sub>2</sub> маҳлул. (мг/л)
Сиома	7,6	40	62,1	0,0969	435	95,1	10,8
Тағоб	7,82	60	93,1	0,1455	419	94	9,36
Оби Чап	8,14	90	128,2	0,2004	400	94,8	8,51
Оҷук	7,85	40	70,4	0,1128	386	96	9,06
Варзоб 1	7,93	80	109,5	0,1711	380	97,9	9,6
Варзоб 2	7,97	80	112,8	0,176	437	101,1	10,43
Сарбо	7,5	50	81,9	0,128	390	96,4	9,61
Сардаи Миёна	7,46	70	99,5	0,1556	409	93,9	9,24
Кофарниҳон 1	7,88	80	117,4	0,1834	445	100	10,15
Кофарниҳон 2	7,76	100	135,2	0,2112	341	106,6	10,21
Кофарниҳон 3	7,73	130	172,1	0,2691	334	106,5	9,67
Элок	7,85	300	387,6	0,5805	470	98,2	8,95
Роғова	7,5	80	114,1	0,1783	408	91,5	8,73
Хонақо 1	7,35	40	68,5	0,1071	395	93	9,46
Хонақо 2	7,44	60	89,9	0,1404	400	92	8,96

Ченкунии хусусиятҳои физикию химиявии об нишон дод, ки оби шохобҳои ҳавзаи дарёи Кофарниҳон ишқорнокии нисбатан камтар доранд. Қимати камтарин pH дар дарёи Хонақо  $pH = 7,35$  буда,

дар дарёи Оби чап ( $pH=8,14$ ) қимати максималӣ хос мебошад. Дар расмҳои 1 ва 2 болооби дарё аз чап ва поёноби дарё аз рост нишон дода шудааст.



Расми 1. pH хусусиятҳои об дар давраи селобии дарёи Кофарниҳон



Расми 2. Концентрацияи намак дар шохобҳои дарёи Кофарнихон

Намакҳо дар шохобҳои дарёи Кофарнихон гуногун тақсим шудаанд, концентрацияи нисбатан зиёди намак (290 мг/л) дар дарёи Элок ба қайд гирифта шудааст

(расми 2). Концентрацияи нисбатан кам (40 мг/л) дар дарёҳои Оҷук ва Хонақо 1 муайян карда шуд.



Расми 3. Таркиби умумии моддаҳои дар об маҳлулшуда

Таркиби умумии моддаҳои дар об маҳлулшуда (расми 3) бо манзараи тақсими концентрацияи намак хуб мувофиқ

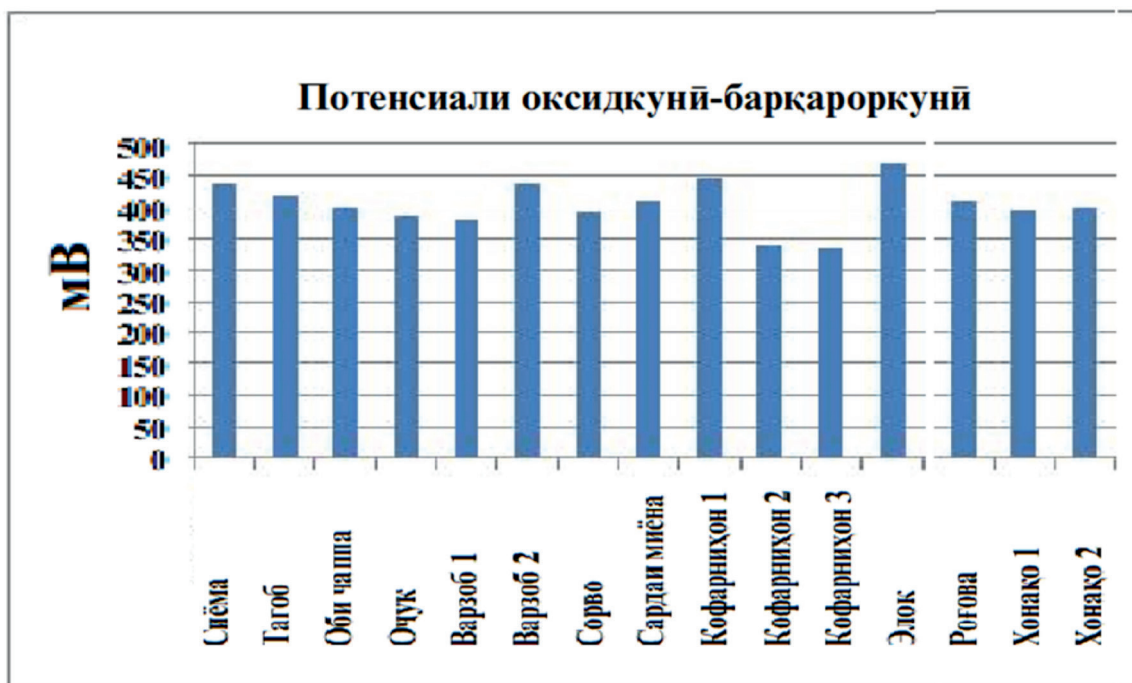
меояд, ки далели дурустии ченкунии гузаронидашуда мебошад.



Расми 4. Ноқилияти хоси об дар дарёи Кофарнихон

Ноқилияти хос дар дарёҳо (расми 4) бевосита аз концентратсияи намаҳои дар об ҳалшуда ва металлҳо вобастагӣ дорад

ва хеле хуб манзараи қаблии тақсироти намак ва моддаҳои ҳалшударо тақрор мекунад.

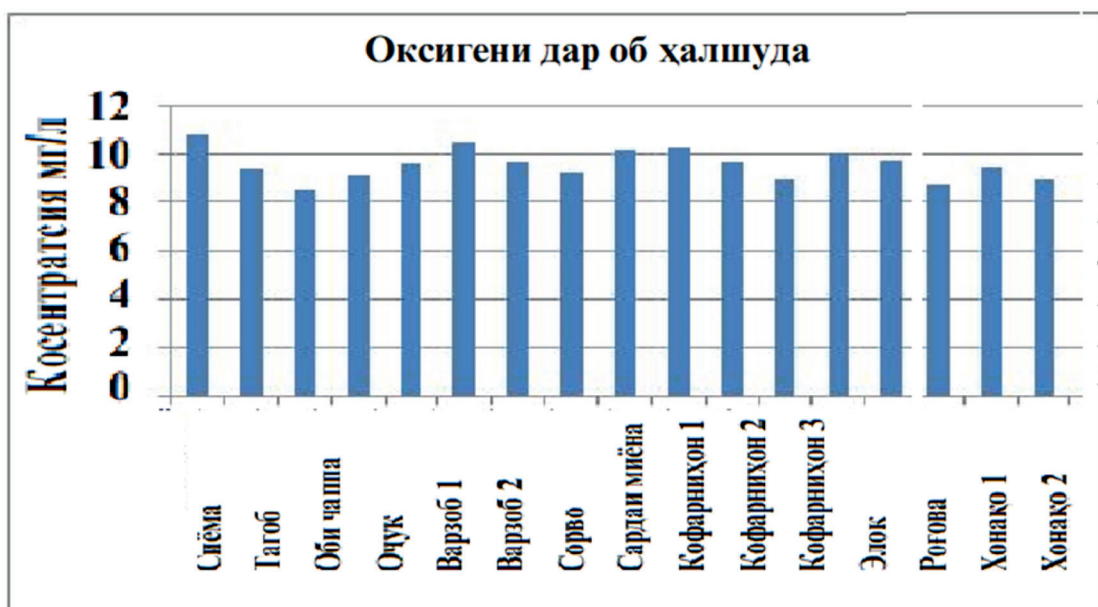


Расми 5. Потенсиали оксидкунӣ-барқароркунӣ

Дар химияи экологӣ потенциали оксидкунӣ-барқароркунии (Редокс-потенциал - расми 5) барои муайян намудани

дараҷаи оксидшавии об ё тағйирёбии шароити паҳншавии металлҳои маҳлулшаванда дар об истифода мешавад.





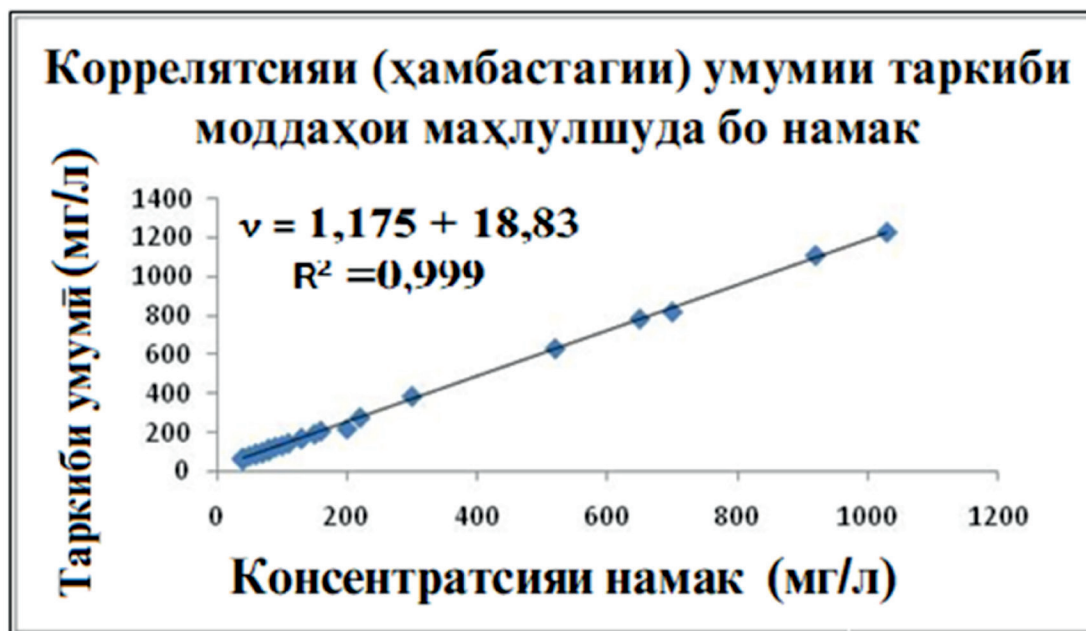
Расми 6. Концентрацияи умумии оксигени дар об ҳалшуда

Концентрацияи оксигени дар об маҳлулшуда муҳимтарин хусусияти тозагии об ба ҳисоб меравад, ки бевосита ба бузургҳои биохимиявии об алоқамандӣ дорад (расми 6). Ҳамаи дарёҳои Тоҷикистон аз оксиген дар ҳадди кофӣ бой ҳастанд [6-8]. Мувофиқи таснифоти байналхалқии об ба оби ширин обҳое дохил мешаванд, ки концентрацияи намак дар онҳо 0,5 г/л ё 500 мг/л мебошад. Ҳангоми концентрацияи намак дар об аз 500 мг/л зиёд ва аз 3000 мг/л кам бошад, он шур ҳисобида мешавад [9-11]. Ҳамаи обҳои дарёҳои кӯҳии Тоҷикистон ширин буда, танҳо дар поёноб, дар ҳудуди дигар кишварҳо ҳамаи дарёҳои фаромарзӣ об шӯр аст.

Таркиби умумии моддаҳои маҳлулшуда дар об ғайр аз намак боз дигар моддаҳои маҳлулшавандаро, мисли пайвастиҳои органикӣ ва металҳоро дар бар мегирад. Концентрацияи умумии моддаҳои маҳлулшаванда бояд аз концентрацияи намак дар об зиёд бошад. Концентрацияи умумии ченкардашудаи моддаҳои маҳлулшаванда дар об (расми 7) ба манзараи тақсими концентрацияи намак дар дарёҳо хеле мувофиқ меояд, ки аз дурустии бузургҳои ченкардашуда гувоҳӣ медиҳад.

Ноқилияти ҳоси барқии обҳо пурра аз хусусиятҳои физикию химиявии об, дар навбати аввал аз мавҷудияти намаку металҳои дар об маҳлулшуда вобастагӣ дорад. Ноқилияти ҳоси барқии ченкардашуда (расми 4) ба манзараи тақсими концентрацияи намак ва таркиби умумии моддаҳои маҳлулшуда хеле мувофиқ меояд, ки дар навбати худ бори дигар аз дурустии бузургҳои ченкардашуда гувоҳӣ медиҳад.

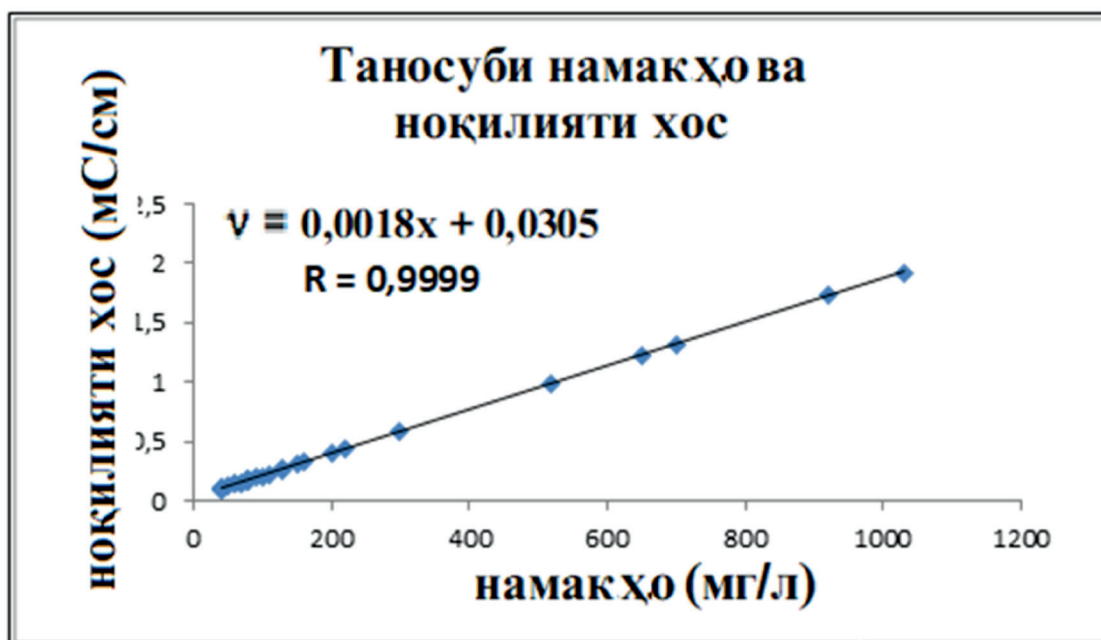
Ҳамбастагии таркиби умумии намакҳои дар об маҳлулшуда тадқиқ гардида, вобастагии ростхатаи байни қисматҳои об муайян карда шуд. Натиҷаҳои таҳлил дар ҷадвали 16 нишон дода шудааст. Коэффисиенти корреляция қариб баробари як ( $R^2 > 0,99$ ) мебошад. Чунин корреляцияи хуб аз он гувоҳӣ медиҳад, ки таркиби умумии моддаҳои дар об ҳалшуда асосан аз намакҳои маҳлулшуда таркиб ёфтааст. Моддаҳои органикӣ қисми на он қадар калони таркиби умумии моддаҳои маҳлулшударо ташкил медиҳанд ва таҳмин кардан мумкин аст, ки ин моддаҳо дар таркиби умумии ҳамаи оби дарёҳо тағйир намеёбанд.



Расми 7. Коррелятсияи умумии таркиби моддаҳои маҳлулшуда бо намак

Алоқамандии тарафайни консентратсияи намакҳои дар об маҳлулшуда ва ноқилияти хоси об тадқиқ карда шуд. Натиҷаҳои таҳлил дар расми 8 оварда шудааст. Коэффисиенти ҳамбастагии намаки дар об ҳалшуда ва ноқилияти хос

ба  $R^2=0,9999$  баробар аст. Ин коррелятсия аз он шаҳодат медиҳад, ки ноқилияти хоси об аз консентратсияи пайвастагҳои ионии дар об ҳалшуда, аз ҷумла намакҳо ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) вобастагӣ дорад.



Расми 8. Коррелятсияи намаки дар об ҳалшуда бо ноқилияти хос

Потенсиали оксидкунӣ-барқароркунӣ (ПОБ, (Eh)), дар оби табиӣ қимати Eh аз -400 то +700 Мв тағйир меёбад, ки аз равандҳои оксидкунӣ-барқароркунии дар

он руйдиханда вобастагӣ дорад [6]. Дар системаҳои табиӣ тағйироти потенциали оксидкунӣ-барқароркунӣ бештар дар сарҳадҳои обҳои нисбатан устувор, дар

болообҳои шамолраси дарё, кӯл, оби барфу борон ва оби конҳо мушоҳида мешавад. Ин потенциал бештар дар муайн кардани фаъолнокии биологии обҳо истифода мегардад. Фарзи мисол, бактерияи навъи *E. Coli*, *Salmonella*, *Listeria* ва дигар бактерияҳои касалиовар (патогенҳо) ҳангоми 665 мВ будани потенциал 30 сония ва аз 485 мВ кам будани қимати потенциал тахминан 300 сония умр мебинанд [6]. Потенциали оксидкунӣ-барқароркунӣ инчунин дар геология барои ҷустуҷӯи конҳои муайяни минералҳо тавассути оконтурикунонии об истифода мешавад, ки потенциалҳо аз таркиби об ва микдори металҳои дар об ҳалшуда вобастагӣ дорад.

Бузургҳои биохимиявии обҳо консентратсияи оксигени маҳлулшуда мебошад. Дар обҳои истода (беҳаракат) консентратсияи оксиген хеле кам мегардад ва баръакс, дарёҳои кӯҳии пурталотум ва босуръати тез ҷоришаванда оксиген аз оксиген хеле бой мебошанд. Дар объектҳои статикӣ обӣ бо афзудани чуқурии қабати обӣ консентратсияи оксиген дар об дар натиҷаи сусти шудани фотосинтез кам мегардад. Консентратсияи оксиген инчунин дар натиҷаи истифодаи он дар оксидшавии моддаҳои органикӣ ва нафаскашии организмҳои обӣ кам мегардад.

Консентратсияи оксигени маҳлулшуда дар болообҳои дарёҳо аз 0 то 14 мг/л тағйир ёфта метавонад ва аз тағйирёбиҳои мавсимӣ ва шабонарӯзӣ вобастагӣ дорад [4-5]. Дар ҳолати фотосинтези бошшидат об оксиген бой шуда, консентратсияи он 20 мг/л ва аз он зиёдро ташкил карда метавонад.

Консентратсияи оксигени маҳлулшуда, ки барои рушди мӯътадили моҳӣ зарур аст, тахминан 5 мг/л ташкил медиҳад, камшавии он барои организмҳои зиндаи обӣ ноговор мебошад. Инчунин аз ҳад зиёд шудани оксиген дар об низ номусоид аст.

Ҳамин тавр, ҳамаи шохобҳои дарёи Кофарниҳон дар ҳадди зарурӣ ба окси-

ген таъминанд [3, 12-13]. Консентратсияи нисбатан зиёди оксиген дар шохобҳои кӯҳӣ, махсусан, дар дарёи Варзоб ва шохобҳои он ба мушоҳида мерасад. Консентратсияи минималии оксиген ба дарёи Сиёма, ки бо селобҳо ва мавҷҳои пурталотуми худ маълум аст, хос мебошад.

#### Адабиёт

1. Классификация сточных вод [Электронный ресурс] // URL: <https://studfile.net/preview/7509269/page:21/>
2. Курбонов Н.Б., Фрумин Г.Т. Формирование состава водных ресурсов бассейна р. Зерафшан. Влияние изменения климата на условия формирования и химического состава водных ресурсов БРЗ. Монография. - Брюссель: LAP Lambert Academic Publishing, 2021. - 145 с.
3. Рахимов И.М. Гидрохимические и изотопные методы оценки качества подземных и поверхностных вод бассейна реки Кафирниган Республики Таджикистан // Дисс. на соис. уч. степ. к.т.н., 2021. - 133 с.
4. Салибаева З.Н. Сезонные изменения физико-химических параметров воды в реках южных отрогов Гиссарского хребта // Вестник Таджикского национального университета, Серия естественных наук, 2015. - 1/2 (160). - С.200-209.
5. Боев М.Р., Шоймуродов Ф.И., Шарифов Ф.Д., Курбон Н.Б. Тағйирёбии мавсимии таркиби оби шохобҳои асосии Кофарниҳон // Маҷаллаи илмӣ «Захираҳои об, энергетика ва экология», 2025. - Ҷ.5. - №1. - С123-131. – EDN: ZYKHEM
6. Абдушукуров Д.А., Салибаева З.Н. Гидрогеохимические параметры качества воды в реках Таджикистана. - Брюссель: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. - 130 с.
7. Абдушукуров Д.А. Гидрогеохимическая экология основная рек Таджикистана // Вестник Таджикского университета университета, 2016. - №1/3(200). - С.249-255.
8. Абдушукуров Дж.А., Давлатшоев Т., Джураев А.А. и др. Гидрогеохимические параметры качества воды в реках Таджикистана. Часть 1. Физико-химические характеристики вод // Вестник Таджикского национального университета, 2014. - №1/2 (130). - С.130-139.
9. Посохов Е.В. Формирование химического состава подземных вод. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1966. - 258 с.
10. Классификация природных поверхностных вод [Электронный ресурс] // URL: <https://studfile.net/preview/4631925/page:6/>

11. Вода в масштабе планеты [Электронный ресурс] // URL: [https://www.cawater-info.net/all\\_about\\_water/?p=847](https://www.cawater-info.net/all_about_water/?p=847)
12. Абдушукуров Д.А., Камолов Ш.Г., Кобулиев З.В., Осёнова Л.Н. Элементный состав почв вдоль русла реки Кафирниган // Науки о Земле, 2016. - №3. - С.66-75.
13. Абдушукуров Д.А., Кобулиев З.В., Осёнова Л.Н. Геохимический состав прибрежных почв реки Кафирниган // XIII Нумановские чтения: Достижения химической науки за 25 лет государственной независимости Республики Таджикистан, 2016. - С.217-221.

## АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ КАФИРНИГАН

**Боев М.Р.<sup>1,\*</sup>, Курбон Н.Б.<sup>1,2</sup>, Курбонов М.<sup>1</sup>, Нуров А.У.<sup>2</sup>, Шарифов Ф.Д.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана

<sup>2</sup>Таджикский национальный университет

\*Автор-корреспондент: E-mail: boev93@internet.ru

**Аннотация.** Целью исследования является определение физико-химических показателей воды, включая солесодержание, содержание кислорода, pH и удельную электропроводность воды реки Кифарнихон, с учетом вопросов гидрохимии и экологии. Это позволит в дальнейшем проводить исследования по определению состояния состава и количества микроэлементов в воде, а также выявлению закономерностей их распределения. Отбор проб проводился в период половодья (май-июнь). Были проведены измерения физико-химических свойств воды притоков реки Кифарнихон.

**Ключевые слова:** река Кифарнихон, соль, кислород, pH, удельная электропроводность, концентрация, корреляция, физико-химические показатели воды.

## ANALYSIS OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF WATER USING THE EXAMPLE OF THE KOFARNIHON RIVER BASIN

**Boev M.R.<sup>1,\*</sup>, Kurbon N.B.<sup>1,2</sup>, Qurbonov M.<sup>1</sup>, Nurov A.U.<sup>2</sup>, Sharifov F.D.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan

<sup>2</sup>Tajik National University

\*Corresponding author: E-mail: boev93@internet.ru

**Abstract.** The purpose of the study is to determine the physicochemical factors of water, including the salt and oxygen content, pH and specific conductivity of the water of the Kofarnihon River, taking into account the issues of hydrochemistry and ecology. This will allow further studies to be conducted to determine the state of the composition and quantity of small elements present in the water and to determine the patterns of their distribution. Sampling was carried out during the high-water period (May-June). Measurements of the physicochemical properties of the waters of the tributaries of the Kofarnihon River were carried out.

**Keywords:** Kofarnihon River, salt, oxygen, pH, specific conductivity, concentration, correlation, physicochemical factors of water.

**Маълумот дар бораи муаллифон:** Боев Муҳаммад Рамазонович – докторанти (PhD) Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, Тел.: +992-554-44-98-98; E-mail: boev93@internet.ru; Курбон Номвар Бойназар – номзади илмҳои техники, дотсент, мудири Лабораторияи моделкунонии захираҳои об ва равандҳои иқлими Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, дотсенти кафедраи метеорология ва климатологияи ДМТ, Тел.: +992-93-474-88-66; E-mail: knomvarb.0502@gmail.com; Курбонов Махмадали – Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, шуъбаи Идоракунии захираҳои об ва обсарфакуни, ходими илмӣ. Почтаи электронӣ: kurbonovmahmadali1974@gmail.com Нуров Абдурашул Урозович – ассистенти кафедраи экологияи ДМТ, Тел.: +992-93-801-00-30; E-mail: butaev-dmt@mail.ru; Шарифов Фирдавс Далерович -Докторанти (PhD) Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ.



**Сведения об авторах:** Боев Мухаммад Рамазонович – докторант (PhD) Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана, Тел.: +992-554-44-98-98; E-mail: boev93@internet.ru; Курбон Номвар Бойназар – кандидат технических наук, доцент, заведующий Лабораторией моделирования водных ресурсов и климатических процессов Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, доцент кафедры метеорологии и климатологии ТНУ, Тел.: +992-93-474-88-66; E-mail: knomvarb.0502@gmail.com; Курбонов Махмадали – Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Отдел управления водными ресурсами и водосбережения, научный сотрудник. E-mail: kurbonovmahmadali1974@gmail.com Нуров Абдурасул Урозович – ассистент кафедры экологии ТНУ, Тел.: +992-93-801-00-30; E-mail: butaev-dmt@mail.ru; Шарифов Фирдавс Далерович – докторант (PhD) Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана.

**Information about the authors:** Boev Muhammad Ramazonovich – PhD student of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the NAS of Tajikistan, Tel.: +992-554-44-98-98; E-mail: boev93@internet.ru; Kurbon Nomvar Boynazar – Candidate of Technical Sciences, Docent, Head of the Laboratory of Water Resources and Climate Processes Modeling of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the NAST, Associate Professor of the Department of Meteorology and Climatology of the TNU, Tel.: +992-93-474-88-66; E-mail: knomvarb.0502@gmail.com; Kurbonov Mahmadali – Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Department of Water Resources Management and Water Conservation, Fellow Researcher. E-mail: kurbonovmahmadali1974@gmail.com; Nurov Abdurasul Urozovich – Assistant of the Department of Ecology of TNU, Tel.: +992-93-801-00-30; E-mail: butaev-dmt@mail.ru; Sharifov Firdavs Dalerovich – PhD student of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the NAS of Tajikistan.

УДК: 551.4:556.5 (575.3)

## ПЕРВИЧНЫЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ САРЕЗСКОГО ОЗЕРА В ЦЕНТРАЛЬНОМ ПАМИРЕ

Бобозода С.Ф.<sup>1</sup>, Стоцкий Д.Ф.<sup>1</sup>,  
Абдушукуров Д.А.<sup>2,3,\*</sup>, Холмирзозода М.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Комитет по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне при Правительстве  
Республики Таджикистан

<sup>2</sup>Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана

<sup>3</sup>Физико-технический институт имени С.У. Умарова Национальной Академии наук Таджикистана

\*Автор-корреспондент: E-mail: abdushukurov.dj@gmail.com

**Аннотация.** В ходе проведения научно-спортивной экспедиции на озеро Сарез была проведена разведочная гамма-съемка вдоль маршрута село Барчадив – пик 100 лет Сарезу до высоты 5790 метров над уровнем моря. Предварительно было проведено многократное измерение гамма-фона на берегу озера, величина фона составила  $20 \pm 0,2$  мкР/ч. По маршруту было измерено 137 точек. В каждой точке производилось трехкратное измерение МЭД на уровне 0,1 и 1 метр. На высоте 5100 метров (пик 100 лет Сарезскому озеру) были отобраны две пробы снега объемом в жидкой фазе по 5 литров каждая. Пробы были взяты с поверхности снежного покрова и с глубины 1,5 метра. Анализ снега показал резкое увеличение количества радионуклидов в поверхностном слое (объемная альфа-активность пробы), в то время как слой снега, расположенный на глубине 1,5 метра был абсолютно чист. Увеличение содержания радионуклидов в поверхностном слое может быть связано с аварией на японской АЭС Фукусима произошедшей в марте 2011 года.

Для детального изучения причины резкого увеличения радионуклидов в осадках, представляется целесообразным проведение широкомасштабных исследований снега на вершине 100 лет Сарезскому озеру.

**Ключевые слова:** радиоэкология, радионуклид, гамма-фон, изотоп, озеро, Сарез, Памир, Таджикистан.

### Введение

Сарезское озеро – уникальный объект для проведения широкого спектра научно-исследовательских работ. Озеро расположено на высоте более 3 тыс. метров

над уровнем моря, удаленно от источников техногенного влияния человека и представляет собой зеркальную поверхность воды площадью 80 км<sup>2</sup>. В непосредственной близости от озера имеются

горные вершины высотой более 5,5 тыс. метров над уровнем моря [1-8].

Наличие на берегу озера системы мониторинга и раннего оповещения комитета по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороны при правительстве Республики Таджикистан с жилыми помещениями и автономным электрическим питанием позволяет организовать базовые исследовательские лагеря с заброской необходимого оборудования, что весьма проблематично в других высокогорных районах Памира.

В июне – августе 2011 года Комитетом по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороны при Правительстве Республики Таджикистан совместно с Физико-техническим институтом Национальной академии наук Республики Таджикистан была проведена разведочная экспедиция для будущего полномасштабного изучения миграции космогенных, естественных и искусственных радионуклидов в атмосфере планеты и ее возможности для самоочищения.

Атмосфера планеты - основной резервуар и переносчик радионуклидов кос-

мического и техногенного (искусственного) происхождения, а ее приземный слой – переносчик естественных радионуклидов земного происхождения.

Основными носителями радионуклидов в атмосфере являются аэрозоли. За последние полвека под воздействием все нарастающей антропологической деятельности радионуклидный состав атмосферы существенно изменился и продолжает изменяться. Отсюда и изменения радионуклидного состава атмосферных выпадений.

По своему происхождению радионуклиды подразделяются на космогенные ( $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ), природные ( $^{40}\text{K}$ , радионуклиды семейств  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ ) и техногенные (продукты ядерных взрывов, работы радиохимических заводов и АЭС).

#### Обзор данных

По данным НКДАР ООН (Научный комитет ООН по действию атомной радиации) с 1945 г. до 1980 г. было произведено 423 взрыва в атмосфере Земли суммарной мощностью 545,4 Мт (табл. 1).

Таблица 1. Страны проводившие атомные испытания

Страна	Период времени, годы	Количество взрывов	Суммарная мощность, Мт
США	1945-1962	193	138,2
СССР	1949-1962	142	357,5
Великобритания	1952-1962	21	16,7
Франция	1960-1974	45	11,9
КНР	1964-1980	22	20,7

За все время проведения ядерных взрывов (до 1990 г.) на земную поверхность выпало  $5,99 \cdot 10^{17}$  Бк  $^{90}\text{Sr}$  (из выброшенных в атмосферу  $6,04 \cdot 10^{17}$  Бк),  $9,6 \cdot 10^{17}$  Бк  $^{137}\text{Cs}$  (из выброшенных –  $9,64 \cdot 10^{17}$  Бк). На 1982 г. в стратосфере еще циркулировало около  $1,8 \cdot 10^{15}$  Бк  $^{90}\text{Sr}$  и  $3,2 \cdot 10^{15}$  Бк  $^{137}\text{Cs}$ . Большая часть выпадений (~75 %) приходится на северное полушарие.

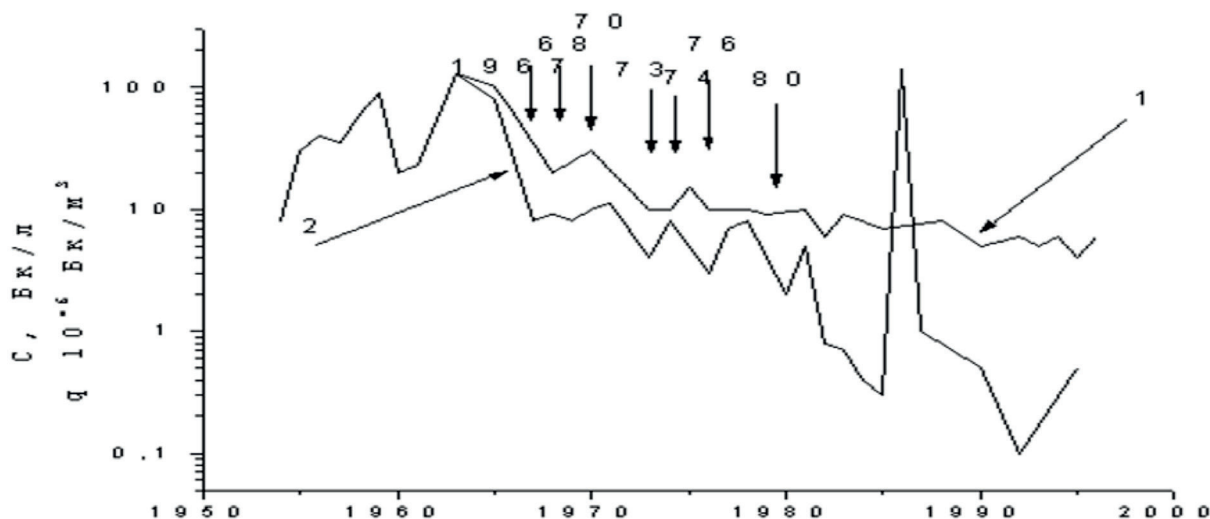
Систематические наблюдения за концентрацией ИРН в атмосферных осадках

на глобальной сети станций Всемирного метеорологического общества проводятся с 1961 г. Результаты их анализов представлены на рисунке 1. (По данным НКДАР ООН).

Из рисунка 1. видно, что самоочищение атмосферы планеты, происходило начиная с 1963 г., а также виден мощный скачек концентрации радионуклидов в 1986 году, связанный с аварией на Чернобыльской АЭС и повышение концентра-

ции радионуклидов в конце 90-х годов прошлого века, связанного с ядерными

испытаниями в Пакистане и Индии в 1998 году.



**Рисунок 1.** Изменение со временем концентрации трития (1) в осадках  $^{131}\text{Cs}$  воздухе (2) в среднем по стране: ↓ - момент проведения ядерных взрывов в КНР

### Объект и методология исследования

Памир расположен на стыке таких ядерных держав как Индия, Пакистан и Китай, которые проводили испытания ядерного оружия в атмосфере. Высота пиков Памира позволяет проводить исследования изменений состояния атмосферы планеты в случае проведения ядерных испытаний или аварий на АЭС практически в любой точке планеты.

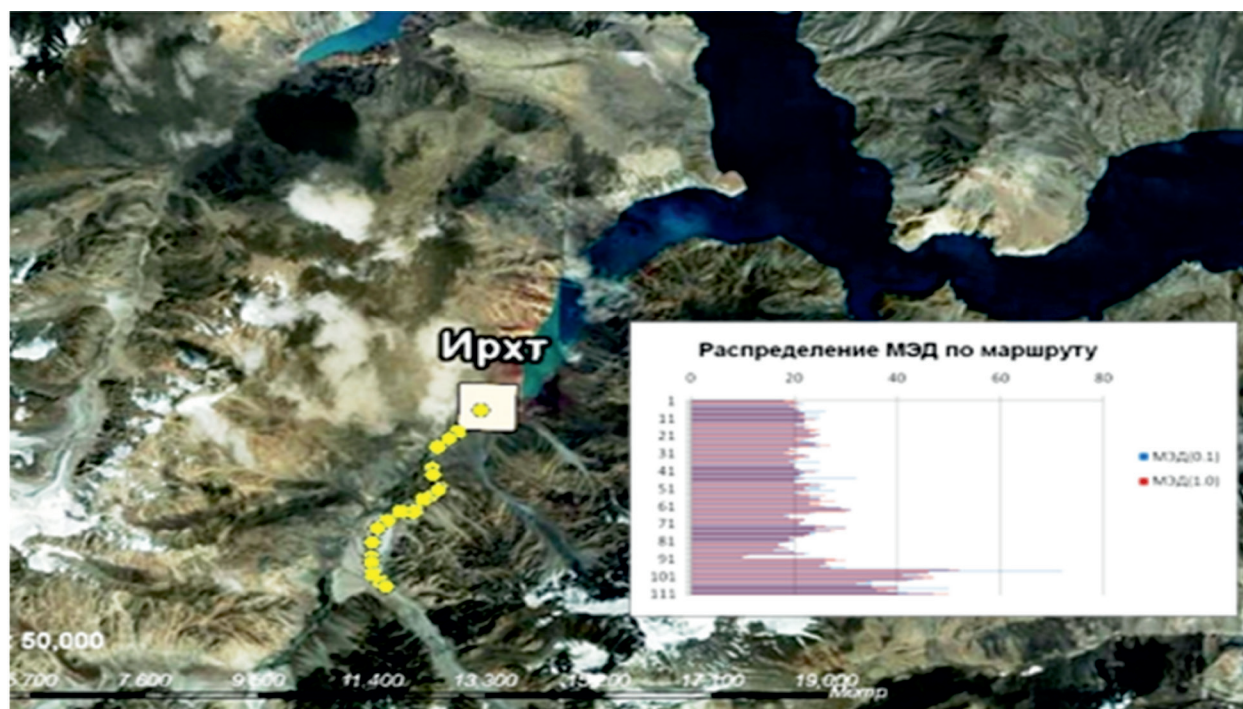
В ходе проведения научно-спортивной экспедиции на озеро Сарез была проведе-

на разведочная гамма-съемка [9-10] вдоль маршрута кишлак Барчадив – пик 100 лет Сарезу до высоты 5790 метров над уровнем моря (рис.2). Предварительно было проведено многократное измерение гамма-фона на берегу озера, величина фона составила  $20 \pm 0,2$  мкР/ч. По маршруту было измерено 137 точек. В каждой точке производилось трехкратное измерение МЭД на уровне 0,1 и 1 метр.



**Рисунок 2.** Схема маршрутов гамма-съемки на озере Сарез





**Рисунок 3.** Гистограмма, показывающая изменения гамма-фона по маршруту к заливу Ирхт.

Один из результатов съемки приведен на рис. 3. Из полученных результатов видно, что с увеличением высоты наблюдения увеличивается и гамма-фон. При этом отчетливо видны пики и провалы на гистограмме.

Пики и провалы гамма-фона могут быть вызваны двумя причинами: различным геологическим строением горных пород вдоль маршрута, а также сложным рельефом местности, приводящим к накоплению природных и техногенных радиоактивных изотопов на подветренных сторонах склонах гор.

На высоте 5100 метров (пик 100 лет Сарезскому озеру) были отобраны две пробы снега объемом в жидкой фазе по 5 литров каждая. Пробы были взяты с поверхности снежного покрова и с глубины 1.5 метра. Анализ снега показал резкое увеличение количества радионуклидов в поверхностном слое (объемная альфа-активность пробы А = 26.8 Бк/л., объемная бета активность пробы А = 997.5 Бк/л), в то время как слой снега, расположенный

на глубине 1.5 метра был абсолютно чист.

Увеличение содержания радионуклидов в поверхностном слое может быть связано с аварией на японской АЭС Фукусима произошедшей в марте 2011 года.

### Выводы

Для детального изучения причины резкого увеличения радионуклидов в осадках, представляется целесообразным проведение широкомасштабных исследований снега на вершине 100 лет Сарезскому озеру. Определение толщины снега по годам выпадения, отбор как можно большего количества проб выпавшего снега по годам произошедших ядерных испытаний и аварий на АЭС. Для подтверждения или опровержения причины увеличения содержания радионуклидов поверхностном слое снега как следствие аварии на АЭС Фукусима, необходимо изучить метеорологические условия в районе Сарезского озера, величину атмосферных осадков в разное время года, провести отбор проб на других ближайших пиках и провести полный гамма-спектральный анализ.



## Литература

1. Шпилько. Землетрясение 1911 г. на Памире и его последствия // Известия Императорского Русского географического общества. - Том L. - Петроград. 1914.
2. Шпилько. Новые сведения об Усойском завале и Сарезском озере // Известия Турк. ОТД. И.Р.Г.О. - Том. XI, 1915.
3. Ланге О.К. Экспедиция по обследованию Усойского завала и Сарезского озера // Народное хозяйство Средней Азии, 1926. - №10. - С.76-79.
4. Папырин Л.П. Отчет Гидрогеофизической партии о результатах рекогносцировочных работ, проведенных в 1969 году в северной части Усойского завала на Центральном Памире. - Душанбе, 1970.
5. Папырин Л.П. и др. Отчет о инженерно-геологических исследованиях в районе Сарезского озера и долин рек Мургаб и Бартанг за 1975-1977 годы (геофизические работы). - Душанбе, 1977.
6. Папырин Л.П., Шалюпа Л.А. Результаты инженерно-геологических исследований для прогноза дальнейшего развития оползней в нижней части Сарезского озера за 1982-1984 годы (геофизические работы). - Душанбе, 1984.
7. Курбонов Н.Б., Кобули З.В., Шаймурадов Ф.И., Фрумин Г.Т., Рахимов И.М. Сравнение физико-химического свойства и изотопного состава воды некоторых озер и рек Таджикистана // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: материалы XXXII молодежной научной школы-конференции. - Петрозаводск, 12-15 октября 2021 г. - С.95-98. – EDN: CGKZDS
8. Robert L. Schuster and Donald Alford. Usoi Landslide Dam and Lake Sarez, Pamir Mountains, Tajikistan // Environmental and Engineering Geoscience; May 2004; v. 10; no. 2; p. 151-168; DOI: 10.2113/10.2.151
9. Abdushukurov D.A., Anvarova G.B., Bondarenko D.V., Mamadaliev B.N., Stotsky D.F. Gamma Shooting of the Territory of Municipal Landfill of the Dushanbe City // International Journal of Ecosystem 2012, 2(5): 99-102 DOI: 10.5923/j.ije.20120205.03
10. Abdushukurov D.A., Abdusamadzoda D., Djuraev A.A., Duliu O.G., Frontasyeva M.V. Distribution of radioactive isotopes in the mountain and piedmont regions of Central Tajikistan Varzob river valley // J Radioanalytical and Nuclear Chemistry, v. 318, #3, pp. 1873-1879 (2018), <https://doi.org/10.1007/s10967-018-6206-5>.

## ТАДҚИҚИ ИБТИДОИИ РАДИОЭКОЛОГӢ ДАР МИНТАҚАИ ҚҶЛИ САРЕЗ ДАР ПОМИРИ МАРКАЗӢ

Бобозода С.Ф.<sup>1</sup>, Стотский Д.Ф.<sup>1</sup>,  
Абдушукуров Ч.А.<sup>2,3,\*</sup>, Холмирзозода М.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кумитаи ҳолатҳои фавқулодда ва мудофиаи граждани назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон

<sup>2</sup>Институту масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

<sup>3</sup>Институту физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

\*Муаллифи масъул: E-mail: [abdushukurov.dj@gmail.com](mailto:abdushukurov.dj@gmail.com)

**Шарҳи мухтасар.** Дар рафти гузаронидани экспедицсияи илмӣ-варзишӣ ба қўли Сарез, дар тўли хатсайр аз деҳаи Барчадив то қуллаи 100 солагии Сарез дар баландии 5790 метр аз сатҳи баҳр, гамма-ченкунии иқтишофӣ гузаронида шуд. Пешакӣ ченкунии бисеркаратаи гамма фон дар соҳили қўл гузаронида шуда, андозаи фон  $20 \pm 0,2$  мкР/соатро ташиқил дод. Дар масир 137 нуқта чен карда шуданд. Дар ҳар нуқта се маротиба ченкунии иқтидори вояи экспедицсионӣ (ИВЭ) дар сатҳи 0,1 ва 1 метр гузаронида шуданд. Дар баландии 5100 метр (қуллаи 100- солагии қўли Сарез) ду намунаи барф дар шакли моеъ бо ҳаҷмҳои 5 литр ҳар якаш гирифта шуд. Намунаҳо аз қабати болоии барф ва аз чуқурии 1,5 метр аз сатҳи барф гирифта шуданд. Таҳлили барф афзоиши шадиди шумораи радионуклидҳоро дар қабати болоӣ (алфа фаълнокии намуна) нишон дод, дар ҳоле, ки қабати барфи дар чуқурии 1,5 метр ҷойгирбуда, комилан тоза буд. Афзоиши миқдори радионуклидҳо дар қабати болоӣ метавонад бо садамаи дар Нерӯгоҳи барқи атомии Фукусимаи Ҷопон дар моҳи март соли 2011 ба амаломеда, алоқаманд бошад. Барои омӯзиши муфассали сабаби яқбора афзоиши радионуклидҳо дар боришот, гузаронидани тадқиқоти ҳамаҷонибаи барф дар қуллаи 100-солагии қўли Сарез мувофиқи матлаб мебошад.

**Калидвожаҳо:** радиоэкология, радионуклид, гамма-фон, изотоп, қўл, Сарез, Помир, Тоҷикистон.

## PRIMARY RADIOECOLOGICAL STUDIES IN THE AREA OF SAREZ LAKE IN THE CENTRAL PAMIRS

Bobozoda S.F.<sup>1</sup>, Stotsky D.F.<sup>1</sup>,  
Abdushukurov D.A.<sup>2,3,\*</sup>, Kholmirezoda M.O.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Committee for Emergency Situations and Civil Defense under the Government of the Republic of Tajikistan

<sup>2</sup>Institute of Water Problems, Hydropower, and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan

<sup>3</sup>S.U. Umarov Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan

\*Corresponding author: E-mail: abdushukurov.dj@gmail.com

**Abstract.** During a scientific and sports expedition to Lake Sarez, a gamma survey was conducted along the route from the village of Barchadiv to the 100-year-old Sarez peak, reaching an altitude of 5,790 meters above sea level. Preliminary gamma background measurements were conducted multiple times on the lakeshore, which were found to be  $20 \pm 0.2 \mu\text{R/h}$ . A total of 137 points were measured along the route. The measurements were taken at each point, at the 0.1- and 1-meter levels. At an altitude of 5,100 meters (the 100-year-old Sarez peak), two snow samples of 5 liters each were collected. The samples were taken from the surface of the snow cover and from a depth of 1.5 meters. Snow analysis revealed a sharp increase in radionuclide levels in the surface layer (volumetric alpha activity of the sample), while the snow layer located at a depth of 1.5 meters was completely clear. The increase in radionuclide content in the surface layer may be related to the accident at the Fukushima nuclear power plant in Japan in March 2011. To thoroughly study the cause of the sharp increase the radionuclides in precipitation, it seems appropriate to conduct large-scale snow studies at the peak of 100 years old of Lake Sarez.

**Key words:** radioecology, radionuclide, gamma background, isotope, lake, Sarez, Pamir, Tajikistan.

**Маълумот онд ба муаллифон:** Бобозода Сухроб Файзалӣ - унвонҷӯи Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 884000273, E-mail: rhr11952@mail.ru; Стотский Дмитрий Франсевич - сардори Озмоишгоҳи ҷумҳуриявии кимиёвӣ-радиометрии Кумитаи ҳолатҳои фавқулодда ва мудофиаи граждани назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон, Тел.: (+992) 938803833, E-mail: stozki@list.ru; Абдушукуров Ҷамшед Алиевич – номзоди илмҳои физикаю математика, ходими калони илмии Озмоишгоҳи сифати об ва экологияи Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 000889705, E-mail: abdushukurov.dj@gmail.com; Холмирзозода Муслима Олим – ходими калони илмии Институти проблемаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ. Тел: +992 918895964. E-mail: Kholmirezoeva76@bk.ru.

**Сведения об авторах:** Бобозода Сухроб Файзали - соискатель Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: (+992) 884000273, E-mail: rhr11952@mail.ru; Стоцкий Дмитрий Францевич – начальник Республиканской химико-радиометрической лаборатории Комитета по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороны при Правительстве Республики Таджикистан, Тел.: (+992) 938803833, E-mail: stozki@list.ru; Абдушукуров Джамшед Алиевич - кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории качества воды и экологии Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: (+992) 000889705, E-mail: abdushukurov.dj@gmail.com; Холмирзозода Муслима Олим – старший научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел: +992 918 89 59 64, E-mail: Kholmirezoeva76@bk.ru.

**Information about the authors:** Bobozoda Suirob Fayzalī - applicant of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tel.: (+992) 884000273, E-mail: rhr11952@mail.ru; Stotsky Dmitry Frantsevich - Head of the Republican Chemical-Radiometric Laboratory of the Committee of Emergency Situations and Civil Defense under the Government of the Republic of Tajikistan, Tel.: (+992) 938803833, E-mail: stozki@list.ru; Abdushukurov Jamshed Alievich - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Water Quality and Ecology of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tel.: (+992) 000889705, E-mail: abdushukurov.dj@gmail.com; Kholmirezoda Muslima Olim – Senior Researcher at the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tel: Tel.: (+992) 918 89 59 64, E-mail: Kholmirezoeva76@bk.ru.

## СУЩНОСТЬ И КОНЦЕПЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДНК В КОНТЕКСТЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Шарипов С.А.<sup>1,\*</sup> Хомидов С.К.<sup>1</sup>, Эшонкулова З.У.<sup>1</sup>

Институт водных проблем, гидроэнергетика и экология Национальной академии наук Таджикистана  
\*Автор-корреспондент. E-mail: sharipovsa1988@gmail.com

**Аннотация.** Статья посвящена экологической ДНК (eDNA, эДНК) как современному инструменту мониторинга водных экосистем. Рассмотрены процессы образования, распространения и деградации эДНК в пресноводной и морской среде, а также методы её отбора, фильтрации, консервации и экстракции. Анализируются молекулярные подходы выявления биоразнообразия — ПЦР, количественная ПЦР, метабаркодирование и секвенирование нового поколения (NGS) — и их преимущество перед традиционными методами. Обсуждается влияние экологических факторов на динамику эДНК, ограничения метода, примеры мониторинга рыбных, беспозвоночных и микробных сообществ, а также раннее выявление редких и инвазивных видов. Материал подчёркивает потенциал интеграции технологий эДНК в систему экологического контроля и природоохранного мониторинга.

**Ключевые слова:** экологическая ДНК, eDNA, эДНК, мониторинг экосистем, биоразнообразие, метабаркодирование, ПЦР, NGS, водные экосистемы.

### Введение

В условиях стремительного роста антропогенной нагрузки, глобальных климатических изменений, деградации водных биотопов и фрагментации природных ландшафтов вопросы эффективного мониторинга водных экосистем приобретают особую значимость. Традиционные методы биологического контроля — визуальные наблюдения, ловушки, инструментальный учёт, морфологическая идентификация таксонов, отбор проб зообентоса и зоопланктона — долгое время оставались основой экологического мониторинга. Однако, на рубеже XXI века стало очевидно, что подобные методики обладают фундаментальными ограничениями: высокой трудоёмкостью, зависимостью от погодных и сезонных факторов, ограниченной чувствительностью, невозможностью выявления скрытных, редких или исчезающих видов, а также потребностью в участии больших команд квалифицированных таксономистов [1].

Кроме того, классические методы зачастую предполагают вмешательство в экосистему, что может приводить к стрессу организмов, нарушению субстратов

или даже гибели отдельных представителей редких популяций. В условиях, когда биоразнообразие во многих регионах испытывает критическое давление, особенно остро ощущается необходимость в неинвазивных и высокочувствительных инструментах экологического контроля.

С начала 2010-х годов исследования в области экологической ДНК приобрели интенсивное развитие. В Европе, США, Канаде, Японии и Австралии эДНК стала одним из ключевых инструментов мониторинга рыбных сообществ, амфибий, моллюсков, микроорганизмов и инвазивных видов [2]. Согласно данным современных исследований, методы эДНК позволяют выявлять видовое разнообразие с точностью на 15–40 % выше, чем традиционные методы, при значительном снижении объёма полевых работ и ресурсов [3]. Особенно высокую эффективность метод показал в труднодоступных районах, в глубоководных слоях водоёмов и регионах с низкой плотностью популяций.

Настоящая работа направлена на систематизацию существующих подходов к использованию экологической ДНК в мониторинге водных экосистем, анализ преимуществ и ограничений метода, а

также определение перспектив его развития в условиях современных вызовов экологической науки. Особое внимание уделено сопоставлению возможностей эДНК с традиционными биологическими методами, рассмотрению факторов, влияющих на стабильность и детектируемость эДНК, а также оценке потенциала метабаркодинга и NGS-технологий в практическом экологическом мониторинге.

### 1. Понятие экологической ДНК

Экологическая ДНК (Э-ДНК, от англ. environmental DNA) представляет собой совокупность фрагментов дезоксирибонуклеиновой кислоты, которые попадают в окружающую среду в результате жизнедеятельности, размножения или гибели организмов. Эти фрагменты могут выделяться с частицами кожи, слюной, экскрементами, мочой, слезью, спорами, пылью, отмершими клетками и другими биологическими субстанциями. Элементы Э-ДНК могут быть извлечены из различных природных субстратов — воды, воздуха, почвы, снега или донных отложений — и проанализированы с помощью современных молекулярно-генетических методов.

Существует два основных типа Э-ДНК: [4]

1. **Организмальная ДНК** — полученная из ещё не разрушенных организмов или их частей.

2. **Внеорганизмальная ДНК** — включает свободную ДНК и ДНК, содержащуюся в слизи, тканевых фрагментах и клетках.

Метод экологической ДНК позволяет устанавливать присутствие видов в экосистеме без их физического обнаружения. Для этого используются методы амплификации определённых участков ДНК, чаще всего митохондриальных генов (например, COI или 16S rRNA), с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР) или метабаркодинга, а затем полученные последовательности сравниваются с гене-

тическими базами данных, такими как BOLD и GenBank [5-7].

Целью данной работы является систематизация теоретических и методологических основ применения экологической ДНК в исследованиях водных экосистем, включая анализ преимуществ метода, практических примеров его использования и перспектив развития эДНК в экологическом мониторинге.

### 2. Методология исследования

Исследование основано на комплексном анализе теоретических и практических данных, включая научные публикации, отчёты мониторинговых программ и кейсы практического применения эДНК.

#### 2.1 Теоретические основы

Теоретические основы применения экологической ДНК включают несколько ключевых аспектов. Во-первых, рассматривается само понятие экологической ДНК и её классификация на два основных типа: организмальную, получаемую из целых или частично разрушенных организмов, и внеорганизмальную, представленную свободной ДНК или ДНК, содержащейся в тканевых фрагментах, слизи или клетках, находящихся в окружающей среде. Во-вторых, анализируются механизмы выделения ДНК организмами в окружающую среду, включая естественные процессы жизнедеятельности, линьку, экскрецию, размножение и гибель, что обеспечивает поступление генетического материала в воду, почву, воздух или донные осадки. В-третьих, изучаются принципы амплификации и идентификации генетического материала, которые позволяют обнаруживать и количественно оценивать присутствие видов в экосистеме посредством методов полимеразной цепной реакции (ПЦР), количественной ПЦР (qPCR), метабаркодинга и секвенирования нового поколения, с последующим сравнением полученных последовательностей с референсными генетическими базами данных.



## 2.2 Методические подходы

Методические подходы к применению экологической ДНК охватывают несколько последовательных этапов. На первом этапе осуществляется отбор проб из различных природных субстратов, включая воду, почву, донные осадки и воздух, с целью получения репрезентативного материала для анализа. На следующем этапе проводятся процессы фильтрации и консервации, включающие использование стерильных фильтров, охлаждение проб или добавление химических консервантов для сохранения целостности ДНК. После этого следует экстракция ДНК с применением стандартных протоколов выделения нуклеиновых кислот, обеспечивающих чистоту и пригодность материала для дальнейшего анализа. Далее проводится амплификация, которая может осуществляться методами полимеразной цепной реакции (ПЦР), количественной ПЦР (qPCR), метабаркодинга или секвенирования нового поколения (NGS), что позволяет выявлять и количественно оценивать присутствие видов. Завершающим этапом является биоинформатический анализ полученных последовательностей с их последующим сравнением с референсными генетическими базами данных, такими как BOLD или GenBank, для идентификации и интерпретации видового состава исследуемых экосистем.

## 2.3 Аналитический обзор

Использованы опубликованные исследования и практические примеры применения эДНК для мониторинга водных экосистем в различных регионах, включая реки, озёра, водохранилища и прибрежные морские зоны. Рассмотрены методические аспекты точности идентификации видов, чувствительности анализа и факторов, влияющих на стабильность и деградируемость ДНК в природной среде.

## 3. Обсуждение полученных результатов

### 3.1. Преимущества экологической ДНК

К основным преимуществам метода экологической ДНК относится его неинвазивность. Этот аспект особенно важен при работе с редкими, уязвимыми или охраняемыми видами, для которых физический отлов или непосредственный контакт могут представлять угрозу. Использование эДНК позволяет определять присутствие видов без вмешательства в их естественную среду обитания, что делает метод безопасным и этически приемлемым для исследований биоразнообразия [9-10].

Высокая чувствительность метода является ещё одним ключевым преимуществом. ДНК организмов может сохраняться в среде некоторое время после их исчезновения из участка наблюдения, что позволяет выявлять скрытные, малочисленные или временно присутствующие виды. Такая способность метода значительно расширяет возможности экологического мониторинга, позволяя получать более полную и точную картину биоразнообразия в экосистемах.

Скорость и эффективность анализа также делают метод эДНК привлекательным. Современные технологии метабаркодинга и секвенирования нового поколения (NGS) позволяют одновременно идентифицировать десятки и сотни видов из одной пробы. Это значительно сокращает время и ресурсы, необходимые для проведения комплексных исследований, по сравнению с традиционными методами, требующими отлова и морфологической идентификации каждого организма.

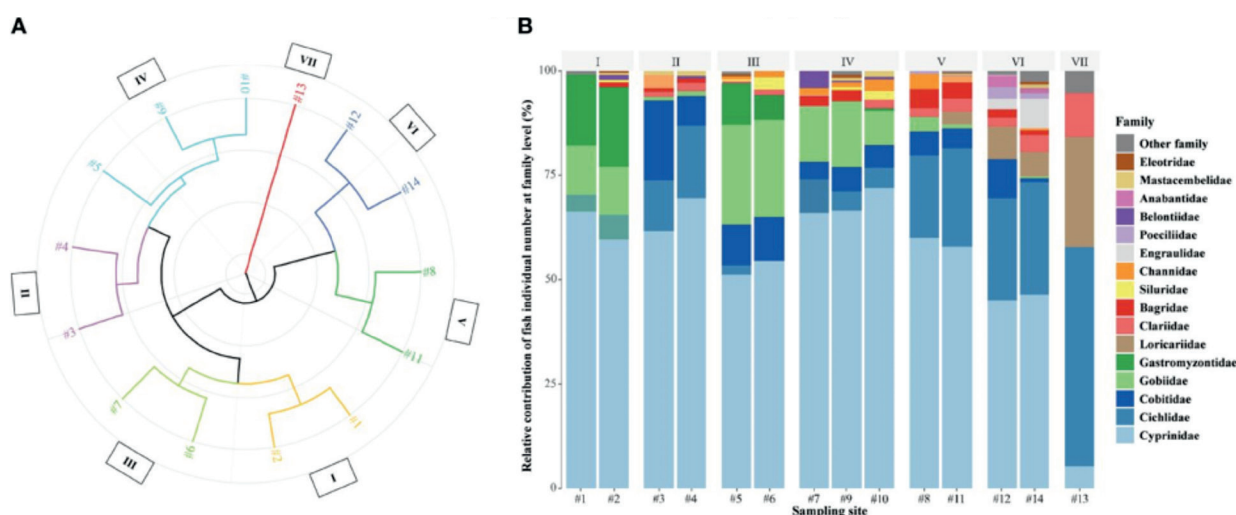
Универсальность применения метода проявляется в возможности анализа различных природных субстратов. Э-ДНК может быть извлечена из воды, почвы, донных осадков, а также из воздуха, что

делает метод применимым для широкого спектра экосистем — от пресноводных и морских до наземных биотопов.

Кроме того, метод предоставляет уникальные возможности для ретроспективного анализа. Древние образцы эДНК, извлечённые из донных осадков, льда или других природных архивов, позволяют восстанавливать состав биологических сообществ прошлых эпох. Это открывает перспективы для изучения изменений биоразнообразия и экологической динамики в историческом и эволюционном контексте.

### 3.2. Примеры использования эДНК в экологическом мониторинге

Пример 1: Оценка рыбного сообщества. Обследование речной системы умеренного климата на основе экологической ДНК позволило идентифицировать 25 видов рыб, включая три вида, находящихся под угрозой исчезновения, которые не были обнаружены с помощью электролова [8]. Исследование подтвердило более высокую чувствительность экологической ДНК и продемонстрировало сильную корреляцию с визуальными методами.



**Рисунок 1.** Пространственная кластеризация ихтиофауны

(А) и процентный состав численности особей на уровне семейств (Б) в реке Люси.

Источник: [https://www.frontiersin.org/files/Articles/1377508/fevo-12-1377508-HTML-r1/image\\_m/fevo-12-1377508-g002.jpg](https://www.frontiersin.org/files/Articles/1377508/fevo-12-1377508-HTML-r1/image_m/fevo-12-1377508-g002.jpg)

Пример 2: Высокогорные озера. Исследователи использовали метабаркодирование экологической ДНК для оценки разнообразия макробеспозвоночных в альпийских озерах. Результаты предо-

ставили исходные данные для будущих исследований воздействия климата и помогли выявить рефугиумы для видов, адаптированных к холоду [8].

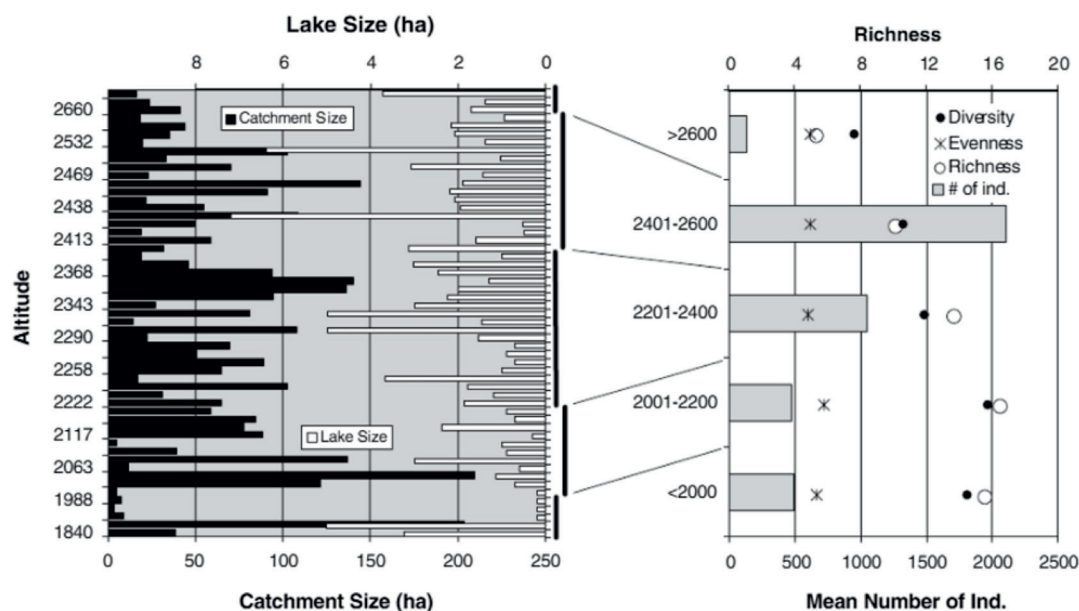


Рисунок 2. Высотное распределение 55 альпийских озёр.

Источник: [https://www.researchgate.net/publication/226152792\\_Macroinvertebrate\\_Diversity\\_in\\_Alpine\\_Lakes\\_Effects\\_of\\_Altitude\\_and\\_Catchment\\_Properties](https://www.researchgate.net/publication/226152792_Macroinvertebrate_Diversity_in_Alpine_Lakes_Effects_of_Altitude_and_Catchment_Properties)

Пример 3: Э-ДНК в Центральной Азии. Хотя исследования экологической ДНК в Центральной Азии пока ограничены, пилотные исследования указывают на высокий потенциал мониторинга биоразнообразия в ледниковых озерах и горных

реках. Дальнейшая работа должна быть сосредоточена на создании местных референтных библиотек ДНК и адаптации протоколов к региональным условиям. [10].



Рисунок 3. Физико-географическая карта Центральной Азии

Источник: <https://filial-nic-mkur.tj/knigi/18.pdf>.

### 3. Перспективы развития метода

Перспективы развития метода экологической ДНК (эДНК) связаны с улучшением точности, надежности и масштабируемости мониторинга биоразнообразия. Одним из ключевых направлений является стандартизация методик. На сегодняшний день отсутствуют единые протоколы отбора, хранения и анализа проб, что затрудняет сопоставимость данных, полученных различными исследовательскими группами. Разработка согласованных процедур позволит повысить воспроизводимость результатов и упростит международное сотрудничество в области экологического мониторинга.

Важным аспектом является оптимизация хранения и транспортировки проб. Разработка устойчивых к температурным колебаниям консервантов, а также компактных полевых лабораторий позволит минимизировать деградацию ДНК и повысить точность последующего анализа, особенно при работе в отдалённых и труднодоступных регионах.

Интеграция методов эДНК с геоинформационными системами (ГИС) и моделированием открывает новые возможности для прогнозирования динамики биоразнообразия и распространения инвазивных видов. Сочетание генетических данных с пространственными моделями позволяет оценивать влияние антропогенных и природных факторов на экосистемы и формировать рекомендации для управления природными ресурсами [6].

Расширение генетических баз данных является необходимым условием для повышения точности видовой идентификации, особенно в малоизученных регионах. Увеличение объёма референсных последовательностей ДНК позволит уменьшить ошибки при сравнении полученных данных и расширить возможности мониторинга редких и эндемичных видов.

Автоматизация мониторинга является ещё одной перспективной областью. Раз-

работка устройств с полным циклом анализа — от отбора проб до выдачи результатов — позволит значительно сократить трудозатраты, ускорить получение данных и использовать эДНК в регулярных системах наблюдения за состоянием экосистем.

Не менее важным направлением является нормативное закрепление методов эДНК. Включение методик эДНК в национальные и международные экологические стандарты, а также в процедуры оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), повысит их применимость в управлении природными ресурсами и охране биоразнообразия.

Наконец, развитие гражданской науки в сфере эДНК позволяет вовлекать население в сбор проб, что увеличивает охват мониторинговых исследований и способствует формированию более полной картины состояния экосистем. Это направление способствует одновременно научной популяризации и повышению эффективности экологического контроля.

### Выводы

Экологическая ДНК является инновационным и высокоэффективным инструментом экологического мониторинга, обеспечивающим высокую чувствительность, универсальность и минимальное вмешательство в экосистему. Метод значительно повышает точность оценки видового разнообразия и позволяет выявлять изменения в биологических сообществах на ранних стадиях.

Для полного внедрения эДНК в практику необходимо дальнейшее развитие методологии, стандартизация процедур, расширение генетических баз данных и междисциплинарное сотрудничество. В условиях глобальных экологических вызовов эДНК становится важнейшим компонентом современных систем мониторинга водных и наземных экосистем.



## Литература

1. Taberlet P., Coissac E., Hajibabaei M., Rieseberg L. H. Environmental DNA // *Molecular Ecology*. 2012. Vol. 21, no. 8. Pp. 1789–1793.
2. Thomsen P. F., Willerslev E. Environmental DNA – An emerging tool in conservation for monitoring past and present biodiversity // *Biological Conservation*. 2015. Vol. 183. Pp. 4–18.
3. Deiner K., Bik H. M., Mächler E., ... Environmental DNA metabarcoding: Transforming how we survey animal and plant communities // *Molecular Ecology*. 2017. Vol. 26, no. 21. Pp. 5872–5895.
4. Rees H. C., Maddison B. C., Middleditch D. J., Patmore J. R. M., Gough K. C. The detection of aquatic animal species using environmental DNA: A review of eDNA as a survey tool in ecology // *Journal of Applied Ecology*. 2014. Vol. 51, no. 5. Pp. 1450–1459.
5. Barnes M. A., Turner C. R. The ecology of environmental DNA and implications for conservation genetics // *Molecular Ecology*. Wiley Online Library. (Типы eDNA: organismal, extraorganismal).
6. Lamb P. D., Eichmiller J. J., Andruszkiewicz E. A., ... Работы по кинетике деградации эДНК и влиянию температуры. Wiley Online Library.
7. Hassan S., Khurshid Z., ... A Critical Assessment of the Congruency between Environmental DNA and Palaeoecology // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. URL: pmc.ncbi.nlm.nih.gov.
8. Lodge D. M., Turner C. R., Jerde C. L., ... Conservation in a cup of water: Estimating biodiversity and population abundance from environmental DNA // *Molecular Ecology*. 2012. Vol. 21, no. 11. Pp. 2555–2558.
9. Cristescu M. E. Can environmental RNA revolutionize biodiversity science? // *Trends in Ecology & Evolution*. 2019. Vol. 34, no. 8. Pp. 694–697.
10. Barnes M. A., Turner C. R. The ecology of environmental DNA and implications for conservation genetics // *Conservation Genetics*. 2016. Vol. 17. Pp. 1–17.

## МОҲИЯТ ВА МАФҲУМИ ДНК-И ЭКОЛОҒИ ДАР ЗАМИНАИ МОНИТОРИНГИ ЭКОЛОҒИ

Шарипов С.А.<sup>1,\*</sup>, Ҳомидов С.К.<sup>1</sup>, Эшонкулова З.У.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институтуи масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

\*Муаллифи масъул. sharipovsa1988@gmail.com

**Шарҳи мухтасар.** Мақола ба ДНК-и экологӣ (eDNA, эДНК) ҳамчун воситаи муосир барои мониторинги экосистемаҳои обӣ бахшида шудааст. Равандҳои ташаккул, паҳншавӣ ва таҷзияи эДНК дар муҳити обҳои шӯр ва ширин баррасӣ шудаанд, ҳамчунин усулҳои ҷамъоварӣ, филтратсия, консерватсия ва экстраксияи он. Равишҳои молекулярӣ барои муайян кардани гуногунии биологӣ — PCR, PCR-и миқдорӣ, метабаркоднинг ва силсилаттаъмини нави пайдарнай (NGS) — ва афзалиятҳои онҳо нисбат ба усулҳои анъанавӣ таҳлил шудаанд. Таъсири омилҳои экологӣ, маҳдудиятҳои усул ва мисолҳои мониторинги ҷамоатҳои моҳӣ, бепоишонаҳо ва микробҳо баррасӣ гардидаанд. Материал имкониятҳои ҳамгиро кардани технологияҳои эДНК ба низомҳои назорати экологӣ ва ҳифзи муҳити зистро таъкид мекунад.

**Калидвожаҳо:** ДНК-и экологӣ, eDNA, эДНК, мониторинги экосистемаҳо, гуногунии биологӣ, метабаркоднинг, PCR, NGS, экосистемаҳои обӣ.

## ESSENCE AND CONCEPT OF ECOLOGICAL DNA IN THE CONTEXT OF ECOLOGICAL MONITORING

Sharipov S.A.<sup>1,\*</sup>, Homidov S.K.<sup>1</sup>, Ehonkulova Z.U.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Water Problems, Hydropower, and Ecology, National Academy of Sciences of Tajikistan

\*Corresponding author. E-mail: sharipovsa1988@gmail.com

**Abstract.** This article focuses on environmental DNA (eDNA) as a modern tool for monitoring aquatic ecosystems. The processes of formation, distribution, and degradation of eDNA in freshwater and marine environments are reviewed, along with methods for sampling, filtration, preservation, and extraction. Molecular approaches for assessing biodiversity — PCR, quantitative PCR, metabarcoding, and next-generation sequencing (NGS) — and their advantages over traditional methods are analyzed. The effects of environmental factors,

*methodological limitations, and case studies on monitoring fish, invertebrate, and microbial communities are discussed. The study highlights the potential integration of eDNA technologies into ecological monitoring and conservation systems.*

**Keywords:** *environmental DNA, ecological DNA, ecosystem monitoring, biodiversity, metabarcoding, aquatic ecosystems.*

**Маълумот дар бораи муаллиф:** Шарифов Саид Аҳмадович – Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, шӯъбаи Идоракунии захираҳои об ва обсарфакуни, ходими калони илмӣ. Почтаи электронӣ: sharipovsa1988@gmail.com; Ҳомидов Солеҳ Каримович – Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, шӯъбаи идоракунии захираҳои об ва обсарфанамой, ходими илмӣ, Тел: (+992) 907100128, E-mail: homid3610@gmail.com; Эшонкулова Заррина Убайдуллоевна-ходими илмӣ лабораторияи иншооти гидротехникии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон.

**Сведения об авторах:** Шарипов Саид Ахмадович - Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Отдел управления водными ресурсами и водосбережения, старший научный сотрудник. E-mail: sharipovsa1988@gmail.com; Хомидов Солеҳ Каримович – Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, отдел управления водными ресурсами и водопользования, научный сотрудник, Тел: (+992) 907100128, E-mail: homid3610@gmail.com; Эшонкулова Заррина Убайдуллоевна- научный сотрудник лабораторией гидротехнических сооружений Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана.

**Information about the authors:** Sharipov Said Ahmadovich - Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Department of Water Resources Management and Water Conservation, Senior Researcher. E-mail: sharipovsa1988@gmail.com; Khomidov Solekhjon Karimovich - Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, researcher at the the Department of Water Resources Management and Water Use, Phone: +992 907100128, E-mail: homid3610@gmail.com; Eshankulova Zarina Ubaydullaevna - Researcher, Laboratory of Hydraulic Structure, Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology, National Academy of Sciences of Tajikistan.

УДК 528.94

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ В БАСЕЙНЕ РЕКИ КАФИРНИГАН ПО ИНДЕКСУ BSI (2000–2024)

Хикматуллозода Н.Х.<sup>1</sup>, Гулахмадзода А.А.<sup>1,\*</sup>, Иноятова К.Л.<sup>1</sup>, Курбон Н.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана

\*Автор-корреспондент. E-mail: agulakhmadov@gmail.com

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследований по оценке деградации почвенного покрова бассейна реки Кафирниган на основе индекса оголённой почвы (Bare Soil Index, BSI), рассчитанного по данным спутников Landsat и Sentinel за 2000, 2010, 2020 и 2024 гг. На основе созданных карт пространственного распределения BSI, выполнен сезонный анализ показателей оголения и риска деградации. Установлено выраженное пространственное различие: горная северная часть бассейна характеризуется низким уровнем оголения почв, тогда как южные и предгорные территории демонстрируют высокие значения BSI, связанные с интенсивным землепользованием и эрозионными процессами. Сезонная динамика выявила ключевой период уязвимости — лето, когда площадь оголённых почв достигает ~545 км², а зоны риска увеличиваются более чем вдвое по сравнению с весной и зимой. Индекс обжиги также достигает максимума в летние месяцы, отражая усиление пожароопасных процессов. Анализ данных за 2020–2024 гг. показал резкий рост выжженных территорий (до 1190 км² в 2021 г.) с последующим снижением и частичным восстановлением, что свидетельствует о высокой межгодовой изменчивости пожарной опасности. Полученные результаты подтверждают необходимость постоянного мониторинга и разработки адаптивных мер по предотвращению эрозии и пожаров в бассейне реки Кафирниган.

**Ключевые слова:** Bare Soil Index (BSI), деградация земель, сезонная динамика, индекс обжиги (Burn Severity Index), бассейн реки Кафирниган.

## Введение

Изучение оголённой почвы и начальных стадий деградации земель важно для экологии и водных ресурсов, позволяющее выявлять участки с повышенной эрозийной активностью и сниженной водоудерживающей способностью почв, способствующая предотвращению потери растительного покрова, уменьшения поверхностного стока и заиливания водоёмов, а также обеспечивающая основу для проведения превентивных мер по устойчивому управлению экосистемами и водными ресурсами, особенно в аридных и полуаридных регионах.

Индекс оголённой почвы (BSI) является важным показателем для региональных исследований, так как эффективно выявляет участки с оголённой почвой и начальные стадии деградации земель, которые могут не фиксироваться одними только вегетационными индексами. Выделяя пространственную изменчивость ландшафтов, BSI способствует точному масштабному картированию процессов опустынивания и эрозии. Интеграция BSI с другими индексами и моделями позволяет региональным органам приоритизировать меры вмешательства, для реализации и реализовывать целевые стратегии управления земельными ресурсами, что делает его незаменимым инструментом в борьбе с деградацией земель на региональном уровне. В 2020 году в Сариска Тайгер Резерв (Индия) уровни органического углерода в почве (SOC) были оценены с использованием значений NDVI, полученных со спутника Sentinel-2A [1]. Для анализа взаимосвязей с другими биофизическими параметрами применялся индекс оголённой почвы (BSI), который показал отрицательную корреляцию с SOC, что свидетельствует о том, что участки с оголённой почвой имеют более низкое содержание органического углерода. В то же время NDVI и pH почвы были положительно коррелированы с SOC, указывая

на более высокое качество и плодородие почвы в местах с высокой концентрацией органического вещества [1].

В данном исследовании [2] в городских районах индекс оголённых почв (BSI) применялся совместно с NDBI и SAVI для выявления изменений землепользования, включая новые застройки, с использованием спутниковых данных Sentinel-2 MSI и Sentinel-1 SAR в платформе Google Earth Engine. Метод с BSI позволил выявлять участки оголённой почвы, повышая точность обнаружения изменений. Подход обеспечил ~90% точности для новых зданий и ~80% для всех классов, что подтверждает эффективность BSI для мониторинга городского расширения. В исследовании [3], проведённом в Минангади Панчаяте, Ваянад, Керала, Индия, индекс оголённых почв (BSI) использовался вместе с индексом нормализованной разницы вегетации (NDVI) для оценки содержания органического углерода почвы (SOC) на основе спутниковых данных Landsat 8 OLI. Была разработана многопараметрическая регрессионная модель для связи SOC с BSI и NDVI, что позволило построить карту пространственного распределения SOC на территории исследования. Предсказанные значения SOC были проверены с помощью полевых измерений, что показало, что BSI в сочетании с NDVI является эффективным инструментом для оценки SOC и плодородия почвы.

В исследовании по картированию городских территорий в Ханое, Вьетнам авторы Ту Ха и др. [4] использовали данные спутника Sentinel-2, полученные в сухой сезон (точная дата не указана), для расчета четырех спектральных индексов: Normalized Difference Tillage Index (NDTI), Bare Soil Index (BSI), Dry Bare Soil Index (DBSI) и Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Были протестированы две комбинации индексов: NDTI/BSI/NDVI и NDTI/DBSI/NDVI, при этом определение городских территорий вы-

полнялось с использованием алгоритма K-means для неконтролируемой классификации. Результаты показали, что BSI превзошел DBSI, обеспечивая лучшую дифференциацию типов оголенных почв и процессов их накопления. Применение комбинации NDTI/BSI/NDVI повысило общую точность картирования на 5,82% и увеличило коэффициент Каппа на 11,1%, что демонстрирует высокую эффективность BSI для картирования городских территорий и потенциал для улучшенного управления городским развитием в сухой сезон. В недавнем исследовании [5], проведенном на двух орошаемых полях площадью 60 гектаров в Северном Судане, индекс оголенных почв (Bare Soil Index, BSI) был применен с использованием спутниковых данных Sentinel-2 для оценки засоленности почв и содержания карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ). Геопривязанные почвенные пробы, собранные в 72 точках с глубины 0–15 см, были проанализированы в лаборатории на электропроводность (EC) и  $\text{CaCO}_3$ , после чего результаты сопоставлены с показателями, полученными по спутниковым индексам. Регрессионный анализ показал, что BSI имеет значимую корреляцию с электропроводностью почвы ( $R^2 = 0,63$ ,  $\text{RMSE} = 6,42\%$ ) и содержанием  $\text{CaCO}_3$  ( $R^2 = 0,45$ ,  $\text{RMSE} = 1,29\%$ ), а его использование совместно с индексом нормализованной разности засоленности (NDSI) повышает точность прогнозирования  $\text{CaCO}_3$  ( $R^2 = 0,53$ ,  $\text{RMSE} = 1,55\%$ ). Полученные результаты подтверждают, что BSI, наряду с другими индексами, является эффективным инструментом мониторинга засоленности и содержания  $\text{CaCO}_3$  в орошаемых агросистемах и имеет высокий потенциал для управления деградацией почв в засушливых регионах.

В исследовании по мониторингу карстовой пустынности в южных районах Китая [6] с помощью Sentinel-2 MSI ин-

декс оголенных почв (BSI) применялся совместно с красными краевыми индексами. Модель BSI-NDre1 показала наибольшую точность ( $R^2 = 95,1\%$ ,  $\text{RMSE} = 0,872$ ), эффективно выявив зоны сильной пустынности в юго-восточных и центральных частях региона. Это подтверждает высокую эффективность сочетания BSI с красными краевыми индексами для оценки карстовой пустынности. В городе Чифэн, Китай, индекс оголенных почв (BSI) совместно с NDVI и MBSI использовался для выделения эндемиков почвы при картировании плотности лесного полога (FCC) с Landsat 8 и Sentinel-2 [7]. Метод с BSI и DPM позволил построить точные карты FCC с высокой плотностью в западных горах. Верификация показала надежность метода (Landsat 8:  $R^2 = 0,6$ ; Sentinel-2:  $R^2 = 0,81$ ), подтверждая эффективность BSI для масштабного картирования FCC.

В Самарской области (Россия) Чинилин и др. [8] в своем исследовании использовали индекс оголенной почвы (BSI) для идентификации участков с открытой почвой. Данные спутников Landsat 4–5, 7 (1988–2010) и Landsat 8–9 (2012–2023) позволили построить синтетические изображения оголенной почвы и провести классификацию почв на основе 71 точки отбора проб. Применение BSI совместно с NDVI и NBR2 обеспечило высокую точность прогнозирования почвенных классов (85% точности, коэффициент Каппа 0,67), позволив выделить агрохернозёмы и агрозёмы. Полученные результаты способствуют устойчивому землепользованию, включая профилактику эрозии и оптимизацию использования земель. Рахимов и др. [9, 10] исследовали солонцеватости почв в Майском районе Казахстана исследователи применили индекс оголенной почвы (BSI) вместе с индексами растительности и влажности, включая NDVI, NDWI и SAVI, для оценки состояния почв и растительности. BSI оказал-



ся эффективным для выявления оголённых или экспонированных почв, тогда как NDVI и SAVI давали информацию о здоровье растительности, а NDWI — о содержании влаги в растениях. Комбинированное использование этих индексов позволило провести комплексный анализ солонцеватости почв и состояния растительности, что способствовало лучшему пониманию процессов деградации почв и разработке стратегий устойчивого управления земельными ресурсами в засушливых и полузасушливых регионах. Такой подход демонстрирует ценность интеграции нескольких индексов дистанционного зондирования для мониторинга и управления состоянием почв и растительности в уязвимых сельскохозяйственных ландшафтах.

В исследовании He и др. [11] индекс голый почвы (BSI), а также индексы Bare-soil (BI) и Dry Bare Soil (DBSI) были применены в Ганьцзы Тибетском автономном округе и Урумчи, Китай для извлечения и картирования открытой земли в сложных городских и природных ландшафтах. BSI использовался в качестве эталонного индекса для оценки эффективности нового Индекса извлечения открытой земли (BLEI). Анализ показал, что BLEI превзошел BSI и другие индексы, достигнув общей точности 98,91%, коэффициента Каппа 0,97 и F1-меры 97,89%. Исследование продемонстрировало, что хотя BSI эффективно идентифицировал открытую почву, BLEI обеспечивал более высокую точность и лучшее различие открытой земли от городских территорий и песчаных почв, предоставляя надежную поддержку для планирования землепользования, исследований почв и экологического управления. Jaksibaev и др. [12] использовали Индекс оголённой почвы (BSI) для оценки оголённости почв и деградации пастбищ в районах плато Устюрт и дельты Амударьи около Аральского моря. BSI в сочетании с NDVI, NDWI, MNDWI, ин-

дексом солёности и температурой поверхности земли позволил выявить участки с низкой растительностью, высокой солёностью и повышенной температурой почвы. Результаты показали устойчивое оголение почвы в деградированных районах, особенно там, где водоснабжение было ограничено, в то время как участки с достаточной водой сохраняли более развитый растительный покров. BSI обеспечил прямую оценку уязвимости земель, что позволяет разрабатывать меры по управлению и устойчивому использованию пастбищ в аридных регионах.

Berdiyev и др. [13] использовали Индекс оголённой почвы (BSI) в качестве одного из шести ключевых показателей для оценки процессов опустынивания в Туркменистане. На основе данных Sentinel 2, обработанных с помощью платформы Google Earth Engine (GEE), BSI был интегрирован вместе с NDVI, SAVI, NDMI, EVI и температурой поверхности земли (LST) в машинные модели (Random Forest, XGBoost, Наивный Байес, KNN). Результаты показали, что северные, центральные и восточные регионы Туркменистана подвергаются сильному опустыниванию, при этом BSI эффективно выделял участки с оголением почвы и снижением растительного покрова. Среди моделей наивысшую точность продемонстрировали Random Forest и XGBoost (96–96,33 %), что подтверждает значимость BSI для мониторинга уязвимости почв в аридных районах. Водосборный бассейн реки Кафирниган (Южный Таджикистан) играет важную экологическую роль, обеспечивая водные ресурсы для сельского хозяйства, населённых пунктов (в том числе Душанбе) и экосистем Центральной Азии. Однако здесь наблюдается выраженная деградация почв и растительности – последствия изменения климата и интенсивной хозяйственной деятельности. Подобные условия приводят к оголению почв, опустыниванию и риску лесных пожаров,

что отрицательно сказывается на устойчивости экосистем. Дистанционное зондирование Земли позволяет отслеживать эти процессы. В частности, Индекс оголённой почвы (BSI, Bare Soil Index) выявляет участки с открытым грунтом.

В отличие от других исследований, проведённых в Индии, Китае, Вьетнаме и России, наше исследование в бассейне реки Кафирниган (Южный Таджикистан) имеет несколько отличительных особенностей и преимуществ. Во-первых, оно охватывает уникальные аридные и полупустынные условия с изменением климата: повышение температуры на 1,2 °C и снижение осадков на 15–20 % за последние 30 лет. Во-вторых, анализ проводится на долгосрочном временном ряду (2000–2024 гг.), что позволяет отслеживать динамику оголённых почв, сезонность деградационных процессов и зоны риска пожаров. В-третьих, интеграция BSI с другими методами позволяет выявлять не только участки оголённых почв, но и оценивать последствия для водных ресурсов, эрозии, риска лесных пожаров и деградации экосистем. Эти особенности обеспечивают научную основу для приоритизации мер по устойчивому управлению земельными и водными ресурсами, что делает наш подход уникальным и практически применимым для регионального планирования.

Целью исследования является оценка динамики оголённых почв и начальных стадий деградации земель в бассейне реки Кафирниган в Таджикистане за 2000–2024 гг. с использованием индекса оголённых почв (BSI) и спутниковых данных. Иссле-

дование включает анализ пространственно-временной динамики BSI, выявление зон эрозии, опустынивания и риска лесных пожаров, а также сопоставление с климатическими и экологическими параметрами для разработки рекомендаций по устойчивому управлению земельными и водными ресурсами.

#### Данные и методологии

Для оценки оголённости почв в бассейне реки Кафирниган использован Bare Soil Index (BSI) – индекс, разработанный для выявления участков с открытым грунтом и минимальным растительным покровом. BSI рассчитывается на основе сочетания отражательной способности в ближнем инфракрасном (NIR), красном, синем и коротковолновом инфракрасном (SWIR1) диапазонах спутниковых снимков. Он эффективно выделяет оголённые почвы даже в условиях частичного покрытия растительностью и используется в различных экологических и агроэкологических исследованиях для мониторинга деградации земель, эрозионной активности, засоленности и урбанизации [14]. Применение BSI позволяет выявлять пространственную изменчивость оголённых участков и интегрировать эти данные с другими индексами растительности (например, NDVI, SAVI) для комплексного анализа состояния экосистем и планирования мероприятий по устойчивому управлению земельными ресурсами. В общих чертах он вычисляется как и характеризует наличие голой почвы: более высокие значения BSI соответствуют открытым (не покрытым растительностью) участкам.

$$BSI = \frac{(SWIR1 + Red) + (NIR + Blue)}{(SWIR1 + Red) - (NIR + Blue)} \quad 1)$$

На основе данных многоспектральных спутников (Landsat/Sentinel) для годов 2000, 2010, 2020 и 2024 построена карта пространственного распределения BSI по

бассейну (рис. 1). Значения BSI классифицированы на пять категорий: крайне высокое оголение (0.42–0.50), очень высокое (0.34–0.42), высокое (0.26–0.34), среднее

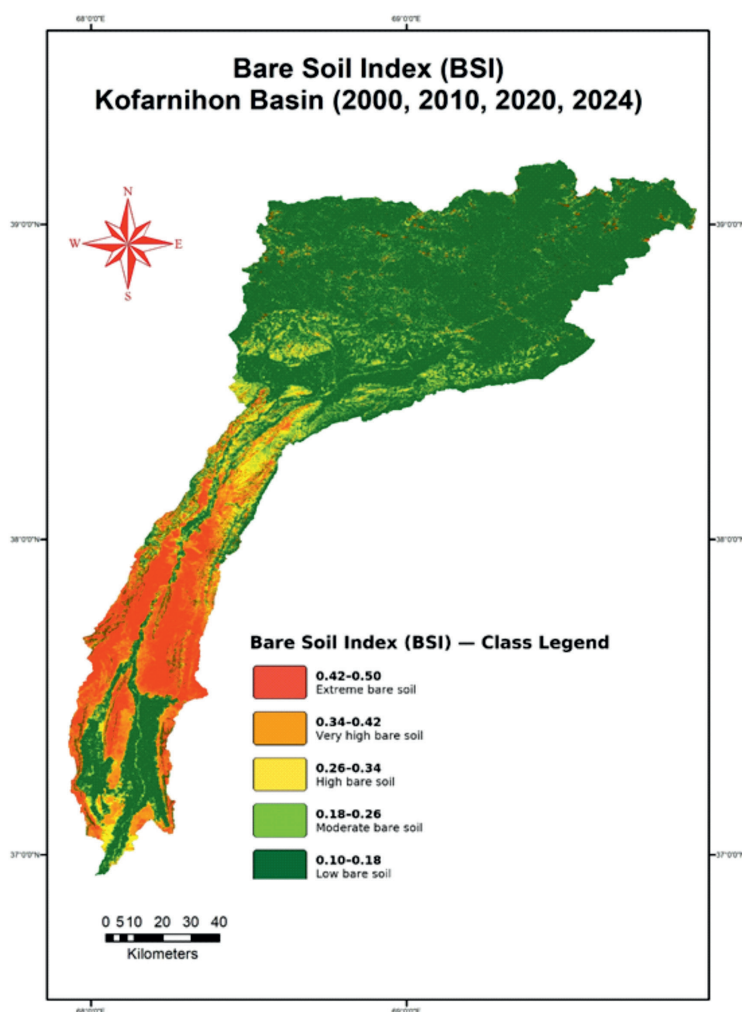
(0.18–0.26) и низкое (0.10–0.18) (см. легенду на рис. 1).

Для сезонного анализа использовались агрегированные показатели по четырём сезонам (зима, весна, лето, осень). Рассчитаны: площадь оголённой почвы (км<sup>2</sup>) в каждом сезоне, площадь зон риска (сильного оголения/пустошей), средний «индекс обжига» (Burn Severity Index, BSI) и суммарная площадь выжженных

участков в летние месяцы по годам. Термин «зоны риска» соответствует участкам с повышенным BSI (например, средний и выше по классификации). Индекс обжига демонстрирует степень повреждения растительности (например, по разнице светотражения до и после пожара).

### Результаты

#### Карта BSI по классам



**Рисунок 1.** Пространственное распределение индекса оголённой почвы (BSI) в бассейне р. Кафирниган (данные за 2000, 2010, 2020, 2024 гг.).

Цветовая палитра: красный – «крайне высокое оголение», оранжевый – «очень высокое», жёлтый – «высокое», салатовый – «среднее», зелёный – «низкое» оголение.

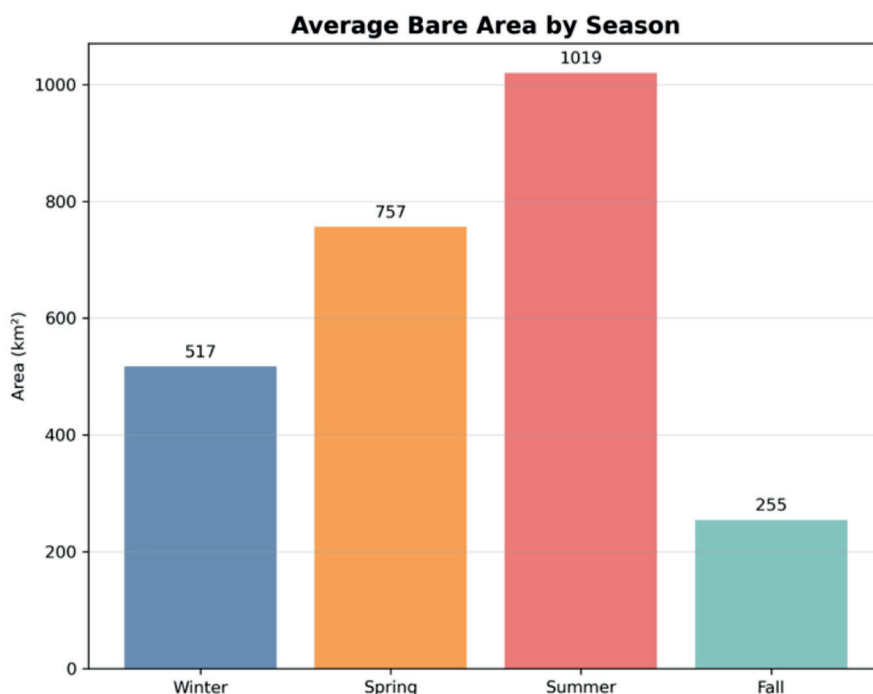
Карта (рис. 1) показывает явный кон-

траст между северной и южной частями бассейна. Горная северная зона остаётся преимущественно зелёной (низкий BSI), что указывает на сохранность растительного покрова и минимальное оголение. В низовьях и предгорьях (юго-запад бассей-

на) отмечаются жёлтые–красные пятна, т.е. «высокие» и «очень высокие» уровни оголённых почв. Это говорит об активном земельном использовании (пашни, пастбища, усыхание водных объектов) и эрозии, проявляющихся на большом про-

странстве. Границы зон с разной степенью оголения чётко прослеживаются по перепадам рельефа: крутые склоны и осушенные равнины демонстрируют более экстремальные значения BSI.

#### Сезонный анализ



**Рисунок 2.** Сезонная динамика показателей деградации почв в бассейне р. Кафирниган.

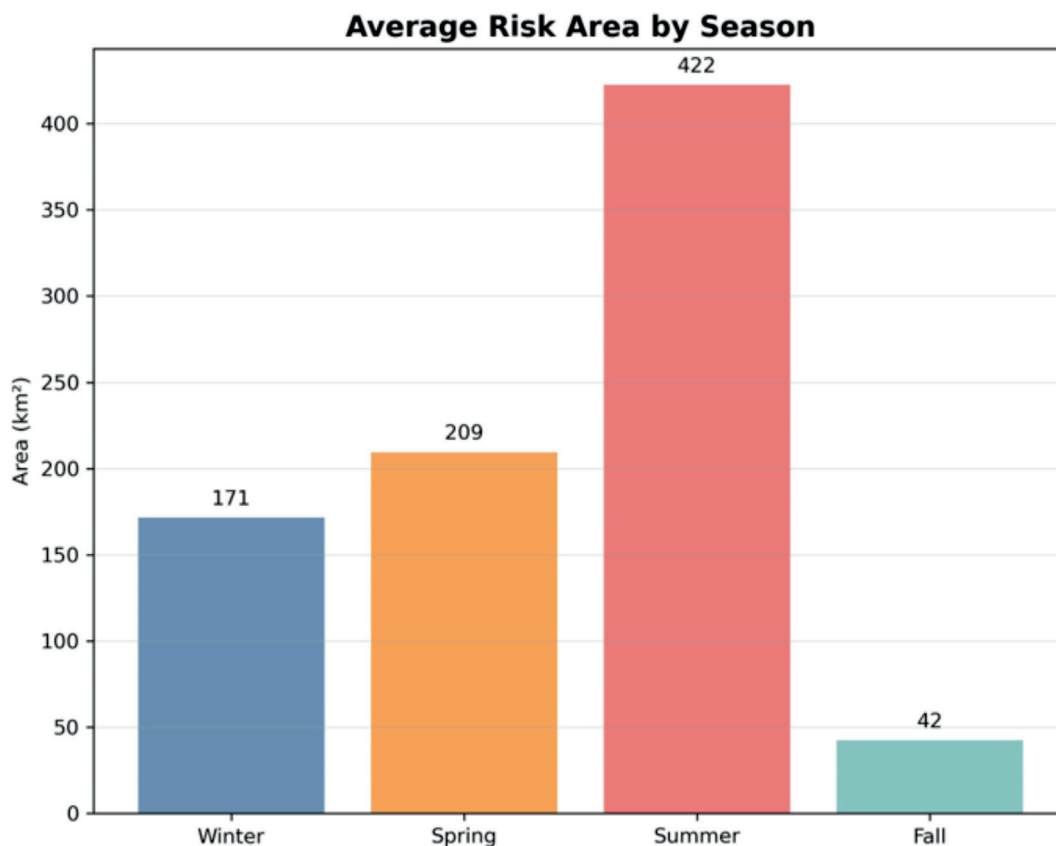
Левая верхняя диаграмма – средняя площадь оголённой почвы (км²) по сезонам; правая верхняя – площадь зон риска; левая нижняя – средний индекс обжига; правая нижняя – тренд выжженных (горящих) участков летом по годам (выражено в км² \*Bare Area\* – полностью выжженные, Risk Area – участки с сильным повреждением).

На диаграммах (рис. 2) отчётливо прослеживается пик всех показателей в летний период. Средняя площадь оголения летом (~545 км²) почти вдвое превышает показатель весной (~390 км²) и более чем вдвое – зимой (~277 км²). Осень характеризуется минимальным значением (~121 км²). Аналогично, площадь зон риска максимальна летом (~226 км²), значительно ниже весной (~108 км²) и зимой (~92 км²),

и почти отсутствует осенью (~20 км²). Средний индекс обжига также достигает максимума летом (~0,0295) и минимален осенью (~0,016), что свидетельствует о наиболее сильных пожароопасных процессах в тёплый период.

Особенно резко заметна динамика выжженных площадей: до 2010 г. горения практически не регистрировалось, а в 2020 и 2024 гг. появилось массовое выгорание участка бассейна (рис. 2, правый нижний график). Летние Bare Area в 2020 г. достигли ~1072 км² (зона полного выжженного грунта), Risk Area – ~450 км². В 2024 г. цифры лишь немного снизились (~1020 и ~440 км² соответственно). Это отражает сильное усиление пожароопасности и линейный тренд (наклон графика) роста выжженных территорий.

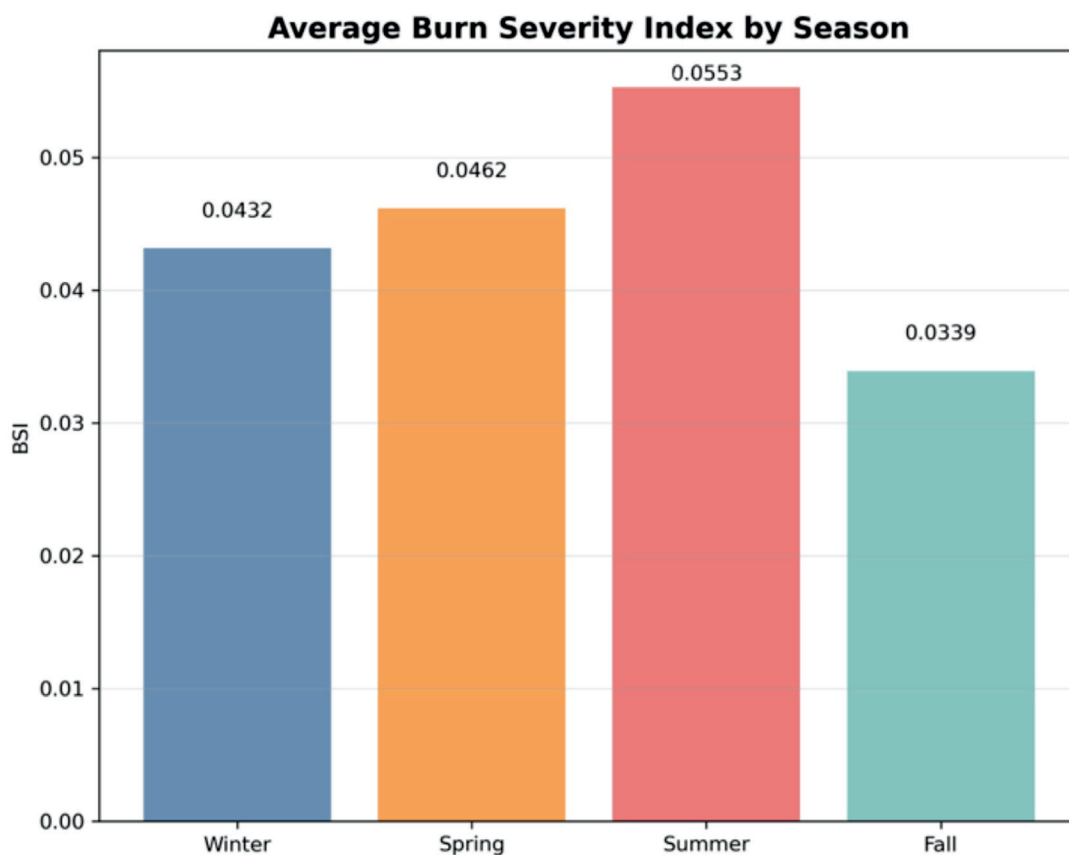




**Рисунок 3.** Сезонное распределение площади зон риска деградации (по BSI) в бассейне р. Кафирниган.

Интерпретация сезонной площади зон риска деградации. На рисунке 3 представленные данные показывают выраженную сезонность уязвимости почвенного покрова бассейна Кафирниган: максимальная площадь зон риска фиксируется летом — 422 км², что в 2,5 раза больше зимнего уровня (171 км², +147 %) и более чем в 2 раза превышает весенний показатель (209 км², +102 %). Осенью риск практически минимален (42 км², - 80 % к весне). Такая структура согласуется с климатическим режимом региона: в тёплый период на фоне повышенной температуры и дефицита влаги усиливаются процессы иссушения растительного покрова, распыления и дефляции почв, возрастает

вероятность палов/пожаров и «выгорания» травостоя; к осени при понижении температуры и частичном восстановлении растительности риск резко снижается. Совокупность результатов указывает, что лето — ключевое «окно уязвимости» ландшафта, когда необходимы усиленные меры противоэрозионной и противопожарной профилактики (регулирование выпаса, отказ от палов, поддержание защитных полос, рациональная ирригация). Методологически «зона риска» определяется порогом BSI, соответствующим среднему и более высоким классам оголения, что обеспечивает чувствительность индикатора к потенциально деградируемым участкам и их сезонным колебаниям.

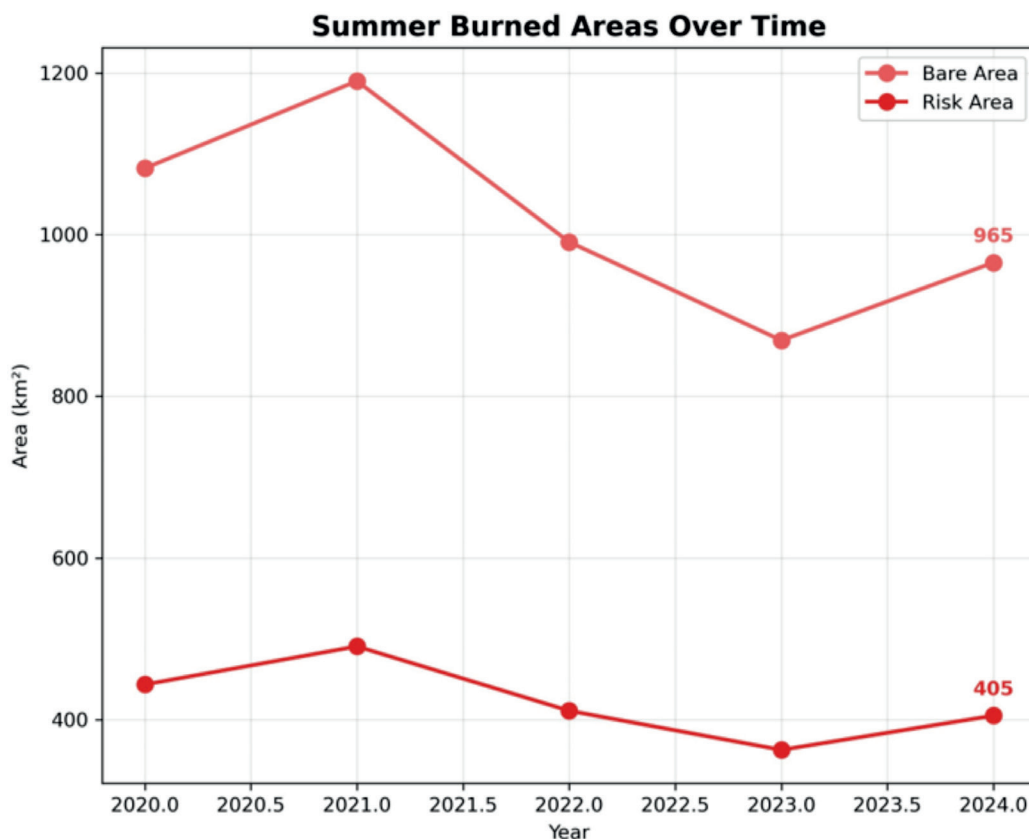


**Рисунок 4.** Сезонные средние значения индекса обжига (BSI) в бассейне р. Кафирниган: зима — 0,0432; весна — 0,0462; лето — 0,0553; осень — 0,0339. Максимум летом указывает на пиковую интенсивность повреждения растительного покрова.

Интерпретация сезонной динамики индекса обжига (Burn Severity Index). На рисунке 4 представлена диаграмма, отражающая выраженный сезонный максимум повреждения растительного покрова летом: среднее значение BSI = 0,0553, что на 28 % выше зимнего уровня (0,0432), на 19 % выше весеннего (0,0462) и на 63 % превышает осенний минимум (0,0339). Нарастание от зимы к весне и пикирование летом указывает на усиление термического стресса и горимости при сочетании высокой температуры, дефицита влаги и накопления сухого горючего материала. Резкое снижение осенью согласуется с по-

нижением температур и частичным восстановлением травяного покрова.

С практической точки зрения, лето — ключевое «окно уязвимости», когда необходимы усиленные меры профилактики: запрет палов, управление пастбищной нагрузкой, разрывы и минерализованные полосы на уязвимых склонах, оперативное информирование фермеров. Зимние и весенние значения остаются умеренными, но тренд роста к лету показывает, что ранневесенняя подготовка (уборка сухостоя, влагосберегающие приёмы на пашнях) критична для снижения летней интенсивности повреждений.



**Рисунок 5.** Летние выжженные площади в бассейне р. Кафирниган (2020–2024)

Интерпретация динамики летних выжженных площадей (2020–2024).

Рисунок 5 фиксирует высокий и изменчивый уровень выгорания в летний сезон. По метрике Bare Area наблюдается пик в 2021 г. (~1190 км²), затем последовательное снижение к 2023 г. (~870 км²) и частичный отскок в 2024 г. (~965 км²). Аналогичная траектория у Risk Area: рост к 2021 г. (~490 км²), спад до 2023 г. (~360 км²) и восстановление в 2024 г. (~405 км²). Таким образом, за 2021–2023 гг. площади снизились примерно на 25–30 %, после чего в 2024 г. выросли на ~10–12 % относительно 2023 г., оставаясь, однако, близкими к уровню 2020 г. (Bare: - 9 % к 2020; Risk: - 9 % к 2020).

Научно это указывает на межгодовую вариабельность пожарной опасности, чувствительную к погодным аномалиям (жара/засуха), запасу «горючего» биомассы и антропогенному фактору (палы, агропрактики). Пиковый 2021 год веро-

ятно связан с сочетанием повышенной температуры и дефицита осадков, тогда как снижение к 2023 г. — с более благоприятными гидрометеороусловиями и/или мерами управления. Отскок в 2024 г. подчеркивает отсутствие устойчивого нисходящего тренда и необходимость постоянного мониторинга.

### Обсуждение

Изучение оголённой почвы и начальных стадий деградации земель, как показал [14], является ключевым для оценки экологических изменений и устойчивости экосистем. В этих исследованиях BSI использовался совместно с вегетационными индексами (NDVI, SAVI), чтобы выявлять зоны с низким содержанием органического углерода и изменениями растительного покрова. В частности, исследования в Сариска Тайгер Резерв (Индия) показали отрицательную корреляцию BSI с SOC, что свидетельствует о снижении качества почвы на оголённых участках [1]. Аналогич-

но, исследования в Минангади Панчаяте, Ханое и Северном Судане подтвердили высокую эффективность BSI в выявлении деградированных земель и мониторинге засолённости [2-5].

В отличие от этих региональных и локальных исследований, наше исследование в бассейне р. Кафирниган охватывает пространственно-временной анализ с 2000 по 2024 гг., позволяющий не только выявлять оголённые участки, но и оценивать сезонные и межгодовые динамики деградации почв. В частности, выявлено, что максимальные площади оголения и зоны риска приходятся на летний сезон (~545 км<sup>2</sup> Bare Area, ~226 км<sup>2</sup> Risk Area), что в 2–2,5 раза выше, чем в зимний и весенний периоды, что демонстрирует выраженную сезонность процессов деградации и повышает точность раннего предупреждения и управления земельными ресурсами.

Дальнейшее отличие заключающееся в интеграции BSI с индексом обжига (Burn Severity Index) и картированием зон риска по классам оголения, что позволило оценить пиковую интенсивность повреждений растительного покрова и выявить летние «окна уязвимости» (рис. 4–5). В предыдущих исследованиях, например в Туркменистане и Устюрт-Аральском регионе, BSI применялся для выявления деградированных участков, но сезонная динамика и связь с пожарной опасностью не были столь детально проанализированы [12, 13].

Кроме того, пространственное распределение BSI по бассейну Кафирниган позволило выявить контраст между северными горными районами (низкий BSI, высокая сохранность растительного покрова) и южными предгорьями и равнинами (высокий BSI, активная деградация). Реализованный детальный анализ обеспечивает приоритетизацию управленческих мер: локализованная защита склонов, контроль пастбищной нагрузки, профилактика палов, укрепление

иригационных систем. Подобный комплексный подход сочетает спутниковый мониторинг, климатические данные и антропогенные факторы, что делает его более точным и применимым для регионального планирования по сравнению с отдельными локальными исследованиями [1, 3-5, 7-10, 13].

Полученные результаты указывают на ярко выраженные причины и следствия деградации почв в бассейне Кафирниган. Климатические факторы способствуют засушливому режиму: в регионе наблюдалось значительное потепление (прибавка температуры ~1,2 °C за последние десятилетия) при одновременном снижении осадков (на 15–20 %), приводящее к росту испарения и сокращению водных ресурсов, подтверждающееся снижением NDWI – показателя влажности поверхностных вод (минимум в 2024 г.) и ростом дефицита влаги. Скудный режим сточных вод и ограниченные иригационные ресурсы усугубляют оголение почв. Существенную роль играют антропогенные воздействия: интенсивное землепользование и урбанизация. Согласно исследованиям, в нижнем течении Кафирнигана свыше 90 % изменений гидрологического режима связано именно с деятельностью человека (в том числе расширение орошаемых и застроенных территорий). Активное распаивание склонов, выпас скота и вырубка лесов снижают устойчивость почв, увеличивая эрозию. Так, заметный прирост застроенных территорий (на 175 % к 2015 г.) указывает на сильную антропогенную трансформацию ландшафта.

В частности, комбинация этих факторов вызывает летние пожары: засушливое тепло сушит растительность, которая при плотном скоте и невыполнении противопожарных мер легко воспламеняется. В летние месяцы отмечаются и наиболее высокие значения индекса обжига (Burn Severity), и максимальные площади выго-



рания (рис. 2). Это указывает на то, что пик уничтожения приходится на сезон максимальных температур и минимальных осадков.

Анализ карты (рис. 1) позволяет выявить устойчивые и уязвимые зоны. Северные высокогорья бассейна остаются относительно зелёными и малоподверженными деградации – низкие значения BSI говорят о цельном растительном покрытии и большом запасе влаги. В противоположность этому, низменные предгорья и равнинные участки южной части бассейна оказались наиболее уязвимыми: здесь преобладают оранжевые и красные оттенки (высокое оголение). Такие участки требуют приоритетного внимания. Оползни, эрозия и формирование пустошей в них протекают быстрее.

Для управления рисками рекомендуются постоянный мониторинг состояния почв с помощью спутников (продолжение анализа BSI, NDVI, NDWI), а также локализованные меры. Необходимы мероприятия по ветрозащите и зарастанию пустошей (севооборот, посадка защитных лесополос) и ужесточение контроля за пожароопасным режимом (профилактика палов, тушение степных пожаров). На правительственном уровне важно интегрировать данные о состоянии почв в системы водно-аграрного планирования: например, адаптивное земледелие с учётом сезонной влажности и внедрение систем орошения. Только комплексный подход – учёт климатических изменений и ограничение разрушительной антропогенной нагрузки – позволит снизить темпы деградации в бассейне Кафирниган.

По результатам пространственно-временного анализа BSI, выявлено что площадь оголённых и опустынившихся земель наиболее высока в летний сезон и в последние годы резко возросла. Эти выводы подтверждаются внешними исследованиями о потеплении климата и усилении нагрузки на экосистемы региона.

Предложенные меры мониторинга и охраны почвовых ресурсов помогут стабилизировать ситуацию в критически уязвимых зонах бассейна.

Таким образом, результаты реализованных исследований не только подтверждают эффективность BSI для мониторинга оголённых земель, но также, что не менее важно, расширяют возможности его применения за счет оценки сезонной динамики, выжженных территорий и зон риска. Именно такой комплексный подход подтверждает его однозначную применимость для аридных и полуаридных регионов Центральной Азии и предоставляет практическую основу для разработки адаптивных стратегий устойчивого управления земельными и водными ресурсами.

### Выводы

- Пространственная структура BSI: Северные горные районы бассейна р. Кафирниган сохраняют растительный покров и низкий BSI, тогда как южные предгорья и равнины характеризуются высоким оголением почв и активной деградацией.

- Сезонная динамика: Лето — ключевое «окно уязвимости»: максимальные площади Bare Area (~545 км<sup>2</sup>) и Risk Area (~226 км<sup>2</sup>) в 2–2,5 раза выше, чем зимой и весной; осень демонстрирует минимальные значения.

- Индекс обжига и пожары: Burn Severity Index летом достигает пиковых значений (0,0553), что подтверждает высокую пожарную опасность и повреждение растительного покрова в тёплый сезон.

- Межгодовая изменчивость: Выжженные площади варьируют в 2020–2024 гг., с пиком в 2021 г. и последующими колебаниями, отражая влияние климатических аномалий и антропогенных факторов.

- Причины деградации: Основные факторы — повышение температуры (~1,2 °C), снижение осадков (15–20 %), де-

фицит влаги, интенсивное землепользование, выпас скота и вырубка лесов.

- Рекомендации по управлению: Необходимы постоянный спутниковый мониторинг, меры противоэрозионной защиты, восстановление растительного покрова, контроль палов и интеграция данных о состоянии почв в адаптивное агропланирование и ирригационные системы.

### Литература

1. Sajjad, H., et al., Assessing soil organic carbon and its relation with biophysical and ecological parameters in tropical forest ecosystem India. Geocarto International, 2025. 40(1): p. 2441388.
2. MASTROROSA, S., Integration of SAR and optical data for an automatic land consumption monitoring using Machine Learning algorithm. 2025.
3. Francis, A., et al., Soil Organic Carbon Estimation Using Remote Sensing Technique, in Green Buildings and Sustainable Engineering: Proceedings of GBSE 2019. 2020, Springer. p. 405-412.
4. Thu Ha, L.T., et al., Application of Multi-Spectral Index from Sentinel-2 Data for Extracting Build-up Land of Hanoi Area in the Dry Season. Inżynieria Mineralna, 2024. 2(1).
5. Zeyada, A.M., et al., Sentinel-2 Satellite Imagery Application to Monitor Soil Salinity and Calcium Carbonate Contents in Agricultural Fields. Phytos (0031-9457), 2023. 92(5).
6. Guo, B., et al., A novel-optimal monitoring index of rocky desertification based on feature space model and red edge indices that derived from sentinel-2 MSI image. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2022. 13(1): p. 1571-1592.
7. Xie, B., et al., Improved forest canopy closure estimation using multispectral satellite imagery within Google Earth Engine. Remote Sensing, 2022. 14(9): p. 2051.
8. Chinilin, A.V., et al., Synergetic Use of Bare Soil Composite Imagery and Multitemporal Vegetation Remote Sensing for Soil Mapping (A Case Study from Samara Region's Upland). Land, 2024. 13(12): p. 2229.
9. Rakhmanov, D., et al., Assessment of agricultural land salinization via soil analysis and remote sensing data: Case study in Pavlodar region, Kazakhstan. Soil & Water Research, 2024. 19(2).
10. RAKHMANOV, D., et al., A Study of Salinization of Agricultural Soils in the Maisky District of the Pavlodar Region of Kazakhstan, Using Remote Sensing Data., in Adaptation strategies for soil and water conservation in a changing world. 2023.
11. He, C., et al., BLEI: Research on a Novel Remote Sensing Bare Land Extraction Index. Remote Sensing, 2024. 16(9): p. 1534.
12. Jaksibaev, R.N. and S.N. Gabbarov, GEOINFORMATIONAL ANALYSIS OF THE NEGATIVE EFFECTS OF THE ARAL SEA ON PASTURES. Theoretical & Applied Science, 2021(6): p. 356-362.
13. Berdyayev, A., et al., Desertification Monitoring Using Machine Learning Techniques with Multiple Indicators Derived from Sentinel-2 in Turkmenistan. Remote Sensing, 2024. 16(23): p. 4525.
14. Pettorelli, N., et al., Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. Trends in ecology & evolution, 2005. 20(9): p. 503-510.

## АРЗЁБИИ ФАЗОИЮ-ЗАМОНИИ ДЕГРАДАТСИЯИ ХОК ДАР ҲАВЗАИ ДАРЁИ КОФАРНИҲОН БО ИСТИФОДА АЗ НИШОНДИҲАНДАИ BSI (2000–2024)

Ҳикматуллозода Н.Ҳ.<sup>1</sup>, Гулаҳмадзода А.А.<sup>1\*</sup>, Иноятова К.Л.<sup>1</sup>, Курбон Н.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

\*Муаллифи масъул. E-mail: agulakhmadov@gmail.com

**Шарҳи мухтасар.** Дар таҳқиқоти мазкур арзёбии деградатсияи ӯшии хок дар ҳавзаи дарёи Кофарниҳон бо истифода аз индекси хоки кушода (*Bare Soil Index – BSI*) анҷом дода шудааст. Ҳисобҳои дар асоси маълумоти моҳвораҳои Landsat ва Sentinel барои солҳои 2000, 2010, 2020 ва 2024 иҷро гардидаанд. Харитаҳои тақсими фазои нишондиҳандаи BSI тартиб дода шуда, таҳлили мавсимии нишондиҳандаҳои ӯшиавии хок ва ҳатари деградатсия анҷом дода шуд. Муайян карда шуд, ки тафовути воҳеи фазоӣ вуҷуд дорад: қисми шимолии қӯҳи ҳавза бо сатҳи пасти ӯшиавии хок тавсиф мешавад, дар ҳоле ки минтақаҳои ҷанубӣ ва доманақӯҳҳо бо арзишҳои баланди BSI фарқ мекунанд, ки ин бо истифодаи шадиди замин ва равандҳои эрозионӣ вобаста мебошад. Динамикаи мавсимӣ давраи асосии осебпазирро муайян на-

муд – тобистон, вақте ки масоҳати хокҳои фоишуда ба ~545 км<sup>2</sup> мерасад ва минтақаҳои хатар бештар аз ду маротиба нисбат ба баҳор ва зимистон зиёд мешаванд. Нишондиҳандаи сӯхташавӣ низ дар моҳҳои тобистон ба ҳадди аксар мерасад, ки ин аз афзоиши равандҳои сӯхторӣ шаҳодат медиҳад. Таҳлили маълумоти солҳои 2020–2024 нишон дод, ки масоҳати заминҳои сӯхташуда босуръат афзуда, дар соли 2021 ба 1190 км<sup>2</sup> расидааст, баъдан коҳиши ёфта ва қисман барқарор гардидааст, ки ин ба тағйирёбии баландсолони хатари сӯхтор ишора мекунад. Натиҷаҳои бадастомада зарурати мониторинги доимӣ ва таҳияи чораҳои мутобиқшавиро барои пешгирии эрозия ва сӯхторҳо дар ҳавзаи дарёи Кӯфарниҳон таъкид мекунад.

**Калидвожаҳо.** Индекси хоки қушода (*Bare Soil Index – BSI*), деградацияи замин, динамикаи мавсимӣ, нишондиҳандаи сӯхташавӣ (*Burn Severity Index*), ҳавзаи дарёи Кӯфарниҳон.

## SPATIAL–TEMPORAL ASSESSMENT OF SOIL DEGRADATION IN THE KOFARNIHON RIVER BASIN USING THE BARE SOIL INDEX (BSI) (2000–2024)

Khikmatullozoda N.H.<sup>1</sup>, Gulahmadzoda A.A.<sup>1,\*</sup>, Inoyatova K.L.<sup>1</sup>, Kurbon N.B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan*

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

**Abstract.** This paper assesses soil degradation in the Kofarnihon River Basin using the Bare Soil Index (BSI) calculated using Landsat and Sentinel satellite data for 2000, 2010, 2020, and 2024. Maps of the BSI spatial distribution were constructed, and a seasonal analysis of bare soil indicators and degradation risk was performed. A pronounced spatial difference was identified: the mountainous northern part of the basin is characterized by a low level of soil bare soil, while the southern and foothill areas demonstrate high BSI values associated with intensive land use and erosion processes. Seasonal dynamics revealed a key period of vulnerability—summer, when the area of bare soil reaches ~545 km<sup>2</sup>, and risk zones more than double compared to spring and winter. The scorching index also reaches a maximum in the summer months, reflecting an increase in fire hazard processes. Data analysis for 2020–2024. The study showed a sharp increase in burned areas (up to 1,190 km<sup>2</sup> in 2021) followed by a decrease and partial recovery, indicating high interannual variability in fire danger. These results highlight the need for ongoing monitoring and the development of adaptive measures to prevent erosion and fires in the Kofarnihon River Basin.

**Keywords:** Bare Soil Index (BSI), land degradation, seasonal dynamics, Burn Severity Index, Kofarnihon River Basin.

**Маълумот оид ба муаллифон.** Ҳикматуллозода Нурбиби Ҳикматуллаевна – ходими илмии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 209707007, E-mail: ray05.03.25@gmail.com; Гулаҳмадзода Аминҷон Абдучаббор – доктори илмҳои техникӣ, директори Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 885471616, E-mail: agulakhmadov@gmail.com; Иноятова Камола Лавзаровна – докторанти Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 934447352, E-mail: kamola.ikl@gmail.com; Курбон Номвар Бойназар – номзоди илмҳои техникӣ, дотсент, мудири озмоишгоҳи моделкунонии захираҳои об ва равандҳои иқлими Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Тел.: (+992) 934748866, E-mail: knomvarb.0502@gmail.com.

**Сведения об авторах.** Хикматуллозода Нурбиби Хикматуллаевна – научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: (+992) 209707007, E-mail: ray05.03.25@gmail.com; Гулаҳмадзода Аминҷон Абдуджаббор – доктор технических наук, директор Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: (+992) 885471616, E-mail: agulakhmadov@gmail.com; Иноятова Камола Лавзаровна – докторанта Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: (+992) 934447352, E-mail: kamola.ikl@gmail.com; Курбон Номвар Бойназар – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией моделирования водных ресурсов и климатических процессов Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Тел.: (+992) 934748866, E-mail: knomvarb.0502@gmail.com.

**Information about the authors.** Khikmatullozoda Nurbibi Hikmatulloevna – researcher at the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tel.: (+992) 209707007, E-mail: ray05.03.25@gmail.com, Gulahmadzoda Aminjon Abdujabbor – Doctor of the

Technical Science, Director of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tel.: (+992) 885471616. E-mail: agulakhmadov@gmail.com; Inoyatova Kamola Lavzarovna - PhD student at the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tel.: (+992)93 4447352, E-mail: kamola.ikl@gmail.com.

УДК 91:330.341 (735.3)

## МОДЕЛЬ ЗОНИРОВАНИЯ ЗОРКУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАПОВЕДНИКА КАК ИНСТРУМЕНТ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОГОРНЫМИ ЭКОСИСТЕМАМИ

Холмамадов А.А.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Хорогский государственный университет им. М.Назаршоев

\*Автор-корреспондент. E-mail: asadkholmatadov@gmail.com

**Аннотация.** В статье представлена разработанная модель зонирования территории Зоркульского государственного заповедника, направленная на долгосрочное сохранение природных комплексов в условиях высокогорной, экологически уязвимой экосистемы. Модель основана на принципах дифференцированной охраны природных территорий и интегрирует международные рекомендации (IUCN, FAO, UNEP) с локальными социально-экономическими реалиями. Выделены три функциональные зоны — ядро строгой охраны, буферная и переходная зоны — каждая из которых имеет собственный режим природопользования, определяемый экологической ценностью и устойчивостью территорий. Инфографическая схема зонирования, выполненная в виде концентрической модели с цветовым кодированием, позволяет одновременно визуализировать пространственную структуру охранных режимов и представить детализированное описание допустимых видов деятельности. Применение модели способствует снижению антропогенной нагрузки, сохранению местообитаний редких видов, оптимизации взаимодействия с местными сообществами и повышению эффективности мониторинга. Внедрение предложенного подхода рассматривается как эффективный инструмент адаптивного управления экосистемами, способствующий устойчивому развитию региона.

**Ключевые слова.** Зоркульский государственный заповедник; зонирование; адаптивное управление; высокогорные экосистемы; особо охраняемые природные территории; пастбищные ресурсы; экосистемный подход; международные стандарты охраны природы; IUCN; устойчивое природопользование.

### Введение

Рациональное распределение и использование территориальных ресурсов является одной из ключевых основ устойчивого управления особо охраняемыми природными территориями (ООПТ), что особенно актуально для горных и трансграничных экосистем, отличающихся высокой природной уязвимостью и чувствительностью к антропогенному воздействию [3, 4, 7, 8, 11].

По мнению М. Шарпли и Д. Холла, эффективное пространственное планирование позволяет минимизировать деградацию природных комплексов, сохраняя баланс между приоритетами охраны природы и социально-экономическими интересами местных сообществ [10].

В условиях высокогорных территорий, подобных Зоркульскому государственному заповеднику, пространственная организация природопользования приобретает особую значимость ввиду низкой восстановительной способности ландшафтов и их зависимости от климатических и антропогенных факторов [5, 9]. Установление функциональных зон охраны и дифференциация режимов использования природных ресурсов рассматриваются как неотъемлемые элементы стратегии долгосрочного сохранения биоразнообразия и предотвращения деградации экосистем [1, 2, 6].

**Материалы и методы.** Материалами исследования послужили данные, полученные в пределах территории Зоркуль-



ского государственного заповедника. Исследования охватывали ключевые высокогорные ландшафтно-экологические комплексы заповедника, включая пастбищные угодья, водно-болотные экосистемы, альпийские и субнивальные пояса, а также участки с повышенной концентрацией редких и охраняемых видов флоры и фауны. Полевые работы проводились в вегетационный период, что позволило оценить современное состояние экосистем и характер антропогической нагрузки.

В ходе исследования использовался комплекс взаимодополняющих методов. Полевые методы включали маршрутные обследования, визуальные геоботанические и ландшафтные наблюдения, фиксацию следов антропогического воздействия (выпас, стоянки, транспортные трассы), а также экспертную оценку состояния пастбищных угодий. Для анализа устойчивости пастбищ применялся метод оценки экологической ёмкости, основанный на сопоставлении продуктивности растительного покрова, продолжительности восстановительных периодов и фактической нагрузки со стороны выпаса.

Климато-географические и ландшафтные условия анализировались на основе метеорологических данных, опубликованных материалов профильных научных учреждений и фондовых источников, а также с использованием цифровых моделей рельефа. Пространственный анализ и картографирование осуществлялись с применением геоинформационных систем (ГИС), включая обработку спутниковых снимков среднего и высокого пространственного разрешения. ГИС-инструменты использовались для выделения функциональных зон, анализа пространственного распределения антропогенных факторов и визуализации предложенной модели зонирования.

Методологическую основу исследования составили принципы экосистемного и адаптивного управления ООПТ, рекомендации Международного союза охраны природы (IUCN), Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO) и Программы ООН по окружающей среде (UNEP). Существенное значение имел сравнительно-географический метод, применённый для анализа и адаптации международного опыта зонирования горных территорий (Монголия, Кыргызстан, Непал, Индия) к природно-экологическим и социально-экономическим условиям Зоркульского заповедника. Синтез полученных данных позволил разработать модель функционального зонирования как инструмент пространственного планирования и адаптивного управления высокогорными экосистемами.

### Обсуждение

Результаты исследования, проведённого в Зоркульском заповеднике, показали, что территория, обладающая уникальным биоразнообразием и ценными ландшафтными комплексами, сталкивается с рядом серьёзных угроз, включая нерегламентированный выпас скота, транзитный транспортный поток и неконтролируемый туризм. Эти факторы повышают риск утраты природных комплексов и снижения экологической устойчивости. Международные организации, такие как FAO, UNEP и ЮНЕСКО, рекомендуют применять экосистемный подход к управлению пастбищами и природными ресурсами, предусматривающий пространственную дифференциацию режимов охраны в зависимости от экологической ценности территории.

Разработанная модель зонирования территории заповедника предусматривает три функциональные зоны. Ядро (зона строгой охраны) охватывает наиболее ценные участки — район Карачилгасой и верховья Ваханского хребта — с высокой концентрацией редких видов и мини-

мальным антропогенным воздействием, где разрешена исключительно научно-исследовательская деятельность. Буферная зона выполняет защитную функцию, снижая внешнее давление на ядро, и допускает строго регламентированные виды деятельности — ограниченный сезонный выпас, экологический туризм и времен-

ные научные лагеря. Переходная зона (зона сотрудничества) ориентирована на согласованные формы устойчивого природопользования и взаимодействие с местными сообществами, включая экологическое образование, развитие экотуризма и реализацию адаптационных мер к изменению климата (табл. 1).

Таблица 1. Зонирование территории заповедника Зоркуль

Зона	Назначение	Разрешённые действия	Ограничения
Ядро (зона строгой охраны)	Сохранение биоразнообразия, проведение научных исследований и мониторинга	Научные исследования, охрана природы	Полный запрет на хозяйственную деятельность, туризм, выпас скота
Буферная зона (регулируемое использование)	Ограниченное использование природных ресурсов, туризм, выпас в пределах нормы	Контролируемый выпас скота, экологический туризм, временные стоянки	Запрет на строительство, ограничение по численности скота и срокам выпаса
Переходная зона (сотрудничество)	Сотрудничество с местными сообществами по устойчивому управлению	Образовательные программы, согласованные природо-пользовательские практики	Исключение вмешательств, наносящих вред ядру и буферной зоне

Зонирование территории Зоркульского государственного заповедника формирует адаптивную модель управления, в которой охранные функции интегрированы с социально-экономической спецификой региона, что способствует долговременному сохранению уникальных экосистем в условиях усиливающегося антропогенного и климатического давления.

Особое значение в системе зонирования придаётся рациональному управлению пастбищными ресурсами, поскольку чрезмерная нагрузка является одним из ключевых факторов деградации высокогорных экосистем. Согласно данным Института горной экологии, восстановление нарушенных пастбищ может занимать от 8 до 15 лет при условии снижения антропогенного воздействия. Для стабилизации состояния пастбищ предложено проводить комплексную оценку их экологической ёмкости, выделять участки с различными режимами выпаса, внедрять

ротационную систему, а также временно исключать зоны, являющиеся местами размножения редких видов. Применение геоинформационных систем (ГИС) и спутниковых снимков высокого разрешения позволяет организовать регулярный мониторинг состояния пастбищ и прогнозировать риски их деградации.

Ключевым условием успешной реализации модели зонирования является участие местных сообществ. Эффективность природоохранных мероприятий существенно повышается при проведении обучающих программ по устойчивому землепользованию, вовлечении пастухов в процесс принятия решений и введении сезонных квот на использование природных ресурсов, что подтверждается результатами международной практики.

В рамках исследования разработана Инфографическая схема зонирования (рис. 1), совмещающая наглядную пространственную модель с детализирован-

ным описанием режимов охраны. Концентрическая структура схемы отражает распределение зон по степени охраны, а цветовые блоки содержат перечни допустимых и запрещённых видов деятельности. Такой визуальный формат повышает наглядность представления информации, упрощает планирование и служит эффективным инструментом коммуникации с органами управления и местным населением.

Предложенная модель, подкреплённая научными данными и адаптированная с учётом международного опыта, направлена на минимизацию риска деградации пастбищных экосистем. Предусматривается предотвращение разрушения местообитаний ключевых видов (в том числе индийского гуся, снежного барса и горного козла), повышение эффективности мониторинга и контроля за соблюдением природоохранного режима, а также обеспечение баланса между охраной природы и социально-экономическими интересами региона.

Разработанная Инфографическая схема зонирования территории Зоркульского государственного заповедника представляет собой комплексный инструмент пространственного планирования, направленный на долгосрочное сохранение природных комплексов в условиях высокогорной, экологически уязвимой экосистемы. В её основу положены научно обоснованные принципы дифференцированной охраны, сформированные с учётом рекомендаций Международного союза охраны природы (IUCN), Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO) и Программы ООН по окружающей среде (UNEP).

Предложенная модель, интегрирующая международный опыт и результаты полевых исследований, обеспечивает установление функциональных зон в зависимости от экологической ценности и устойчивости территорий. Такое разгра-

ничение позволяет минимизировать риск деградации пастбищных экосистем, предотвратить разрушение местообитаний ключевых видов (включая индийского гуся, снежного барса и горного козла), снизить антропогенную нагрузку на уязвимые природные комплексы, а также сбалансировать задачи охраны природы и социально-экономические потребности местного населения.

Зонирование рассматривается как ключевой элемент экосистемного подхода к управлению ООПТ категории Ia по классификации IUCN. Оно предусматривает пространственное разделение функций строгой охраны, устойчивого природопользования и экологического просвещения. Ядро (зона строгой охраны) включает участки с наивысшей природной ценностью, где допускается исключительно научная деятельность. Буферная зона выполняет роль амортизатора внешнего воздействия, предполагая ограниченное использование ресурсов в экологически допустимых пределах. Переходная зона ориентирована на согласованные формы взаимодействия с местными сообществами, включая экотуризм, экологическое образование и традиционные формы хозяйствования.

Инфографика выполнена в формате концентрической схемы, отражающей пространственное распределение зон, с цветовой кодировкой и структурированным описанием для каждой категории. Такой формат сочетает наглядность с управленческой функциональностью, упрощает восприятие и может использоваться как инструмент коммуникации между администрацией заповедника, органами власти и населением.

Международный опыт (Монголия, Непал, Индия, Кыргызстан) подтверждает эффективность интеграции зонирования с механизмами квотирования природопользования, что в отдельных случаях позволило сократить деградацию земель на

30–50 % и повысить устойчивость традиционного хозяйства. Применение данных подходов в Зоркульском заповеднике создаёт условия для адаптивного управления экосистемами, повышает прозрачность

природоохранных решений и формирует предпосылки для долгосрочного сохранения уникального природного наследия региона.

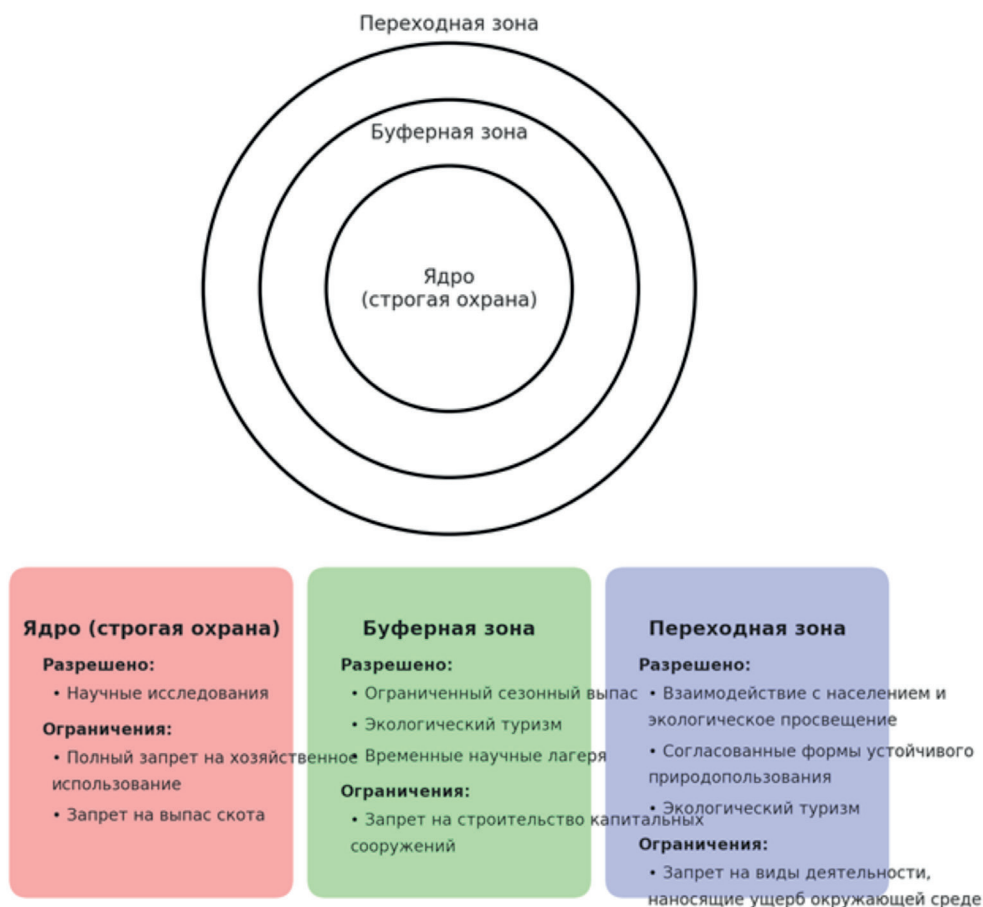


Рисунок 1. Зонирование территории Зоркульского заповедника

Таким образом, представленная модель зонирования является научно обоснованным и практико-ориентированным инструментом, обеспечивающим интеграцию международных стандартов охраны природы с локальными особенностями. Её реализация будет способствовать устойчивому развитию территории и сохранению биоразнообразия в условиях нарастающих антропогенных и климатических вызовов.

#### Литература

1. International Union for Conservation of Nature (IUCN). Guidelines for Applying Protected Area Management Categories. Gland, Switzerland: IUCN, 2016.
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Pastoralism in the 21st Century: Moving to the Future. Rome: FAO, 2018.
3. United Nations Environment Programme (UNEP). Ecosystem-based Adaptation Guidelines. Nairobi: UNEP, 2020.
4. Sharpley, R., & Hall, D. Tourism and Development: Concepts and Issues. 2nd ed. Bristol: Channel View Publications, 2009.
5. Соколов В.Е., Романов М.С., Петрова Л.Н. Природно-экологические особенности и охрана высокогорных эко-



- систем. М.: Наука, 2021.
6. Körner, C. Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems. 2nd ed. Berlin: Springer, 2004.
  7. Beresford, A.E., Buchanan, G.M., Donald, P.F., et al. The contribution

of protected areas to biodiversity conservation. Biological Reviews, 94(2), 2019, pp. 584–609.

## МОДЕЛИ МИНТАҚАБАНДИИ МАМНЎҒОҲИ ДАВЛАТИИ ТАБИИИ ЗОРКЎЛ ҲАМЧУН НАМУНА БАРОИ ИДОРАКУНИИ МУТОБИҚШАВАНДАИ ЭКОСИСТЕМАҲОИ БАЛАНДКЎҲ

Холмамадов А.А.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Донигоҳи давлатии Хоруг ба номи им. М.Назаршоев

\*Муаллифи масъул. E-mail: asadkholmamadov@gmail.com

**Шарҳи мухтасар.** Дар мақола модели таҳияшудаи зоникунони ҳудуди Захирагоҳи давлатии Зоркӯл пешниҳод шудааст, ки ба ҳифзи дарозмуддати маҷмӯаҳои табиӣ дар шароити экосистемаи кӯҳии экологӣ-осебпазир равона шудааст. Модель бар асоси принципҳои ҳифзи дифференсиалии минтақаҳои табиӣ таҳия гардида, тавсияҳои байналмилали (IUCN, FAO, UNEP)-ро бо воқеиятҳои иҷтимоӣ-иқтисодии маҳаллӣ муттаҳид мекунад. Се минтақаи функционалӣ ҷудо карда шудаанд — ядрои ҳифзи қатъӣ, минтақаи буферӣ ва минтақаи гузариш, ки ҳар кадоме дорои низоми алоҳидаи истифодабарии табиӣ мебошад, ки онро арзиши экологӣ ва устувори ҳудуд муайян менамояд. Нақшаи инфографикии зоникунӣ, ки дар шакли модели консентрикӣ бо рамзгузори ранга иҷро шудааст, имкон медиҳад ҳамзамон сохтори фазоии режимҳои ҳифз визуализатсия шавад ва тавсифи муфассали намудҳои иҷозатдодашудаи фаъолият пешниҳод гардад. Истифодаи модел ба коҳиши фишори антропогенӣ, ҳифзи маҳалли зисти намудҳои нодир, беҳтарсозии ҳамкорӣ бо ҷомаҳои маҳаллӣ ва баланд бардоштани самаранокии мониторинг мусоидат мекунад. Ҷорӣ намудани ин равиши пешниҳодишуда ҳамчун воситаи муассири идоракунии мутобиқшаванда ба экосистемаҳо арзёбӣ мешавад, ки ба рушди устувори минтақа мусоидат менамояд.

**Калидвожаҳо:** Захирагоҳи давлатии Зоркӯл; зоникунӣ; идоракунии мутобиқшаванда; экосистемаҳои кӯҳӣ; минтақаҳои махсус муҳофизатшавандаи табиӣ; захираҳои чарогоҳ; равиши экосистемавӣ; меъёрҳои байналмилалии ҳифзи табиат; IUCN; истифодабарии устувори захираҳо.

## ZONING MODEL OF THE ZORKUL STATE NATURE RESERVE AS A TOOL FOR ADAPTIVE MANAGEMENT OF HIGH-MOUNTAIN ECOSYSTEMS

Kholmamadov A.A.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Khorog State University named after. M. Nazarshoev

\*Corresponding author. E-mail: asadkholmamadov@gmail.com

**Abstract.** This article presents a developed zoning model for the Zorkul State Nature Reserve, aimed at the long-term conservation of natural complexes within a high-altitude, environmentally vulnerable ecosystem. The model is based on the principles of differentiated protection of natural areas and integrates international recommendations (IUCN, FAO, UNEP) with local socio-economic realities. Three functional zones are identified — the core area of strict protection, the buffer zone, and the transition zone — each with its own regime of natural resource use, determined by the ecological value and resilience of the territory. The zoning infographic, designed as a concentric model with color coding, simultaneously visualizes the spatial structure of protection regimes and provides a detailed description of permitted activities. The application of the model helps reduce anthropogenic pressure, preserve habitats of rare species, optimize cooperation with local communities, and improve the efficiency of monitoring. The proposed approach is considered an effective tool for adaptive ecosystem management, contributing to the sustainable development of the region.

**Keywords:** Zorkul State Nature Reserve; zoning; adaptive management; high-altitude ecosystems; protected areas; pasture resources; ecosystem approach; international nature conservation standards; IUCN; sustainable natural resource use.

**Маълумот дар бораи муаллиф:** Холмамадов Асад – декани факултаи биология, E-mail: asadkholmamadov@gmail.com, Тел.: 93 511 53 54

**Сведения об авторе:** Холмамадов Асад – декан биологического факультета, E-mail: asadkholmamadov@gmail.com, Тел.: 93 511 53 54

**Author information.** Kholmamadov Asad – Dean of the Faculty of Biology, E-mail: asadkholmamadov@gmail.com, Tel.: 93 511 53 54.

УДК 661.491.15

## ИЗУЧЕНИЕ СТАРЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТОВ СИСТЕМЫ ВОДА + ПЕРОКСИД ВОДОРОДА + МАГНИТНЫЙ ПОРОШОК

Зарипов Дж.А.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Таджикский технический университет им. акад. М. С. Осими

\*Автор-корреспондент. E-mail: jz - 1972 @ mail.ru.

**Аннотация.** В процессе эксплуатации изделия со временем стареют или разрушаются, теряя свои термические или физико-химические свойства. Ухудшение свойств изделия во многом зависит от температуры и атмосферного давления, что в конечном итоге приводит к снижению его качества. Обычно старение органических продуктов или нанокмпозитов определяется теорией Аррениуса – Эйринга.

**Ключевые слова:** температура, время, вода, пероксид водорода, масса, давление, термопара.

### Введение

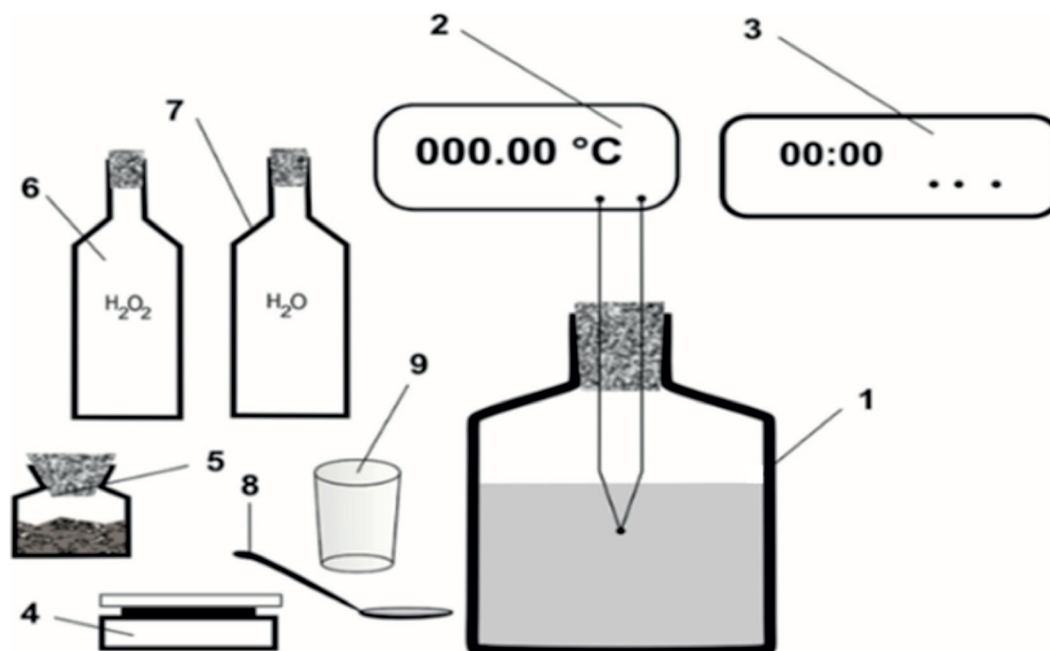
Для изучения термограммы электролитов системы (вода ( $H_2O$ ) + пероксид водорода ( $H_2O_2$ )) использована установка, приведённая на рисунке 1 [1].

Необходимо отметить, что приведённые выше экспериментальные данные получены для реакции термического разложения чистого пероксида водорода или водного раствора пероксида водорода. В литературных источниках отмечены случаи сильной зависимости скорости реакции от различных добавок (порошкообразных твёрдых, жидких или газообразных) [2, 3]. В связи с этим необходимы экспериментальные исследования для каждого случая добавления в раствор пероксида водорода с целью выяснения каталитических свойств использованного компонента. Это касается и магнитных порошков. Кроме того, необходимо отметить, что зачастую степень разложения пероксида водорода определяется по измерению объёма выделившегося газа, что возможно сделать в течение всего времени наблюдения за реакцией. В то время, ког-

да более точные методы анализа вещества (рентгена флуоресцентный анализ – РФА или дифференциальной термический анализ – ДТА) требуют значительных (относительно начального периода развития реакции) временных затрат и могут применяться в качестве дополнительной проверки достоверности получаемых результатов для периода слабого изменения состава рабочего тела во времени [4].

Кроме того, проведение экспериментов по определению кинетики термического разложения смеси водного раствора пероксида водорода с магнитным порошком, который предполагается использовать в качестве теплоносителя, должно максимально соответствовать условиям замкнутого пространства полостей теплообменников.

**Методика исследования.** С этой целью была разработана следующая экспериментальная методика. Для определения термограммы (зависимостей температуры разложения от времени) растворов разработан экспериментальный комплекс, представленный на рисунке 1.



**Рисунок 1.** – Экспериментальная установка для определения термограммы электролитов: 1 - сосуд; 2 - термопара; 3 - секундомер; 4 - весы; 5 - сажа; 6 - перекись водорода; 7 – вода; 8, 9 - химические посуды

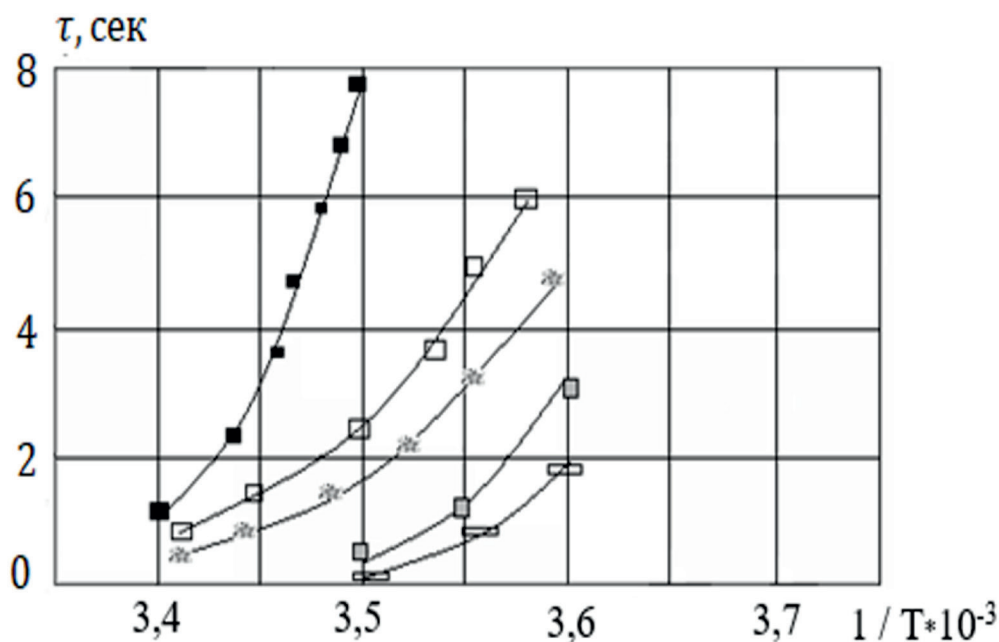
Установка включает сосуд Дьюара (1) с хорошей тепловой изоляцией, комплекса для измерения температуры на основе хромель – алюмелевой термопары (2), систему фиксирования текущего времени процесса (3). Для проведения экспериментов требуются аналитические весы (4), магнитный порошок (5), перекись водорода (6), вода и химическая посуда.

Опыт проводится следующим образом. В сосуд Дьюара заливается определенное количество исследуемого вещества с включёнными добавками при предварительном взвешивании каждого компонента, а эксперимент проводится в условиях неизменности полной массы системы ( $m = \text{const}$ ). По показаниям дифференциальной хромель – алюмелевой термопары и системы фиксации текущего времени строится график зависимости времени разложения от температуры раствора [5, 6].

**Результаты исследования.** Исследование было проведено для доказательства достоверности результатов, полученных при использовании описанной ранее методики определения констант формальной кинетики на основании расчёта с учётом баланса тепла [7, 8, 9].

Таким образом, была подтверждена возможность использования метода теплового баланса для кинетического анализа реакции термического разложения водных растворов пероксида водорода. Для результатов полученных термограмм разложения в условиях сосуда Дьюара. На основе экспериментальных данных температурной зависимости от времени старения материалов, т.е. электролитов системы пероксида водорода и воды, с использованием теории Аренниуса-Эйринга была рассчитана скорость химических реакций [10].

Для поставленной задачи построен график зависимости  $\tau = f(1/T)$ , рисунок 2.



**Рисунок 2.** Зависимость времени старения электролита от обратной температуры при  $T = 283\text{K}$ .

1 -  $\blacksquare$  -  $g_{H_2O_2} = 99,1\%$ ; 2-  $\square$  -  $g_{H_2O_2} = 99,6\%$ ; 3-  $\diamond$  -  $g_{H_2O_2} = 99,8\%$ ,  
4-  $\blacksquare$  -  $g_{H_2O_2} = 99,7\%$ ; 5 -  $\square$  -  $g_{H_2O_2} = 99,6$

Как видно из рисунка 2, время старения электролита зависит от температуры и доли массы воды [11, 12, 13]

$$\ln \tau = \frac{A}{T} + B. \quad 1)$$

где  $A$  и  $B$  – величины, постоянные для данного материала.

Анализ значений  $A$  и  $B$  показал, что они являются функциями доли массы магнитных порошков или иных материалов.

$$A(g_{\text{мп}}) = -323 \cdot 10^7 g_{\text{мп}}^2 + 902,6 \cdot 10^3 g_{\text{мп}} + 288 \quad 2)$$

$$B(g_{\text{мп}}) = 80,4 \cdot 10^3 g_{\text{мп}}^2 - 23,6 \cdot 10^2 g_{\text{мп}} - 11,5. \quad 3)$$

Коэффициенты в уравнении (1) с учётом (2) и (3) примут вид:

$$\ln(\tau) = \frac{B(g_{H_2O_2})}{T} + A(g_{H_2O_2}) \quad 2)$$

### Обсуждение результатов.

Аналогичные зависимости наблюдаются для «срока жизни» (продолжительности работы до выхода из строя) расформиров в коллекторе и изоляции других

электроизоляционных конструкциях. Выполнимость выражения (4) показана на рисунке 3.



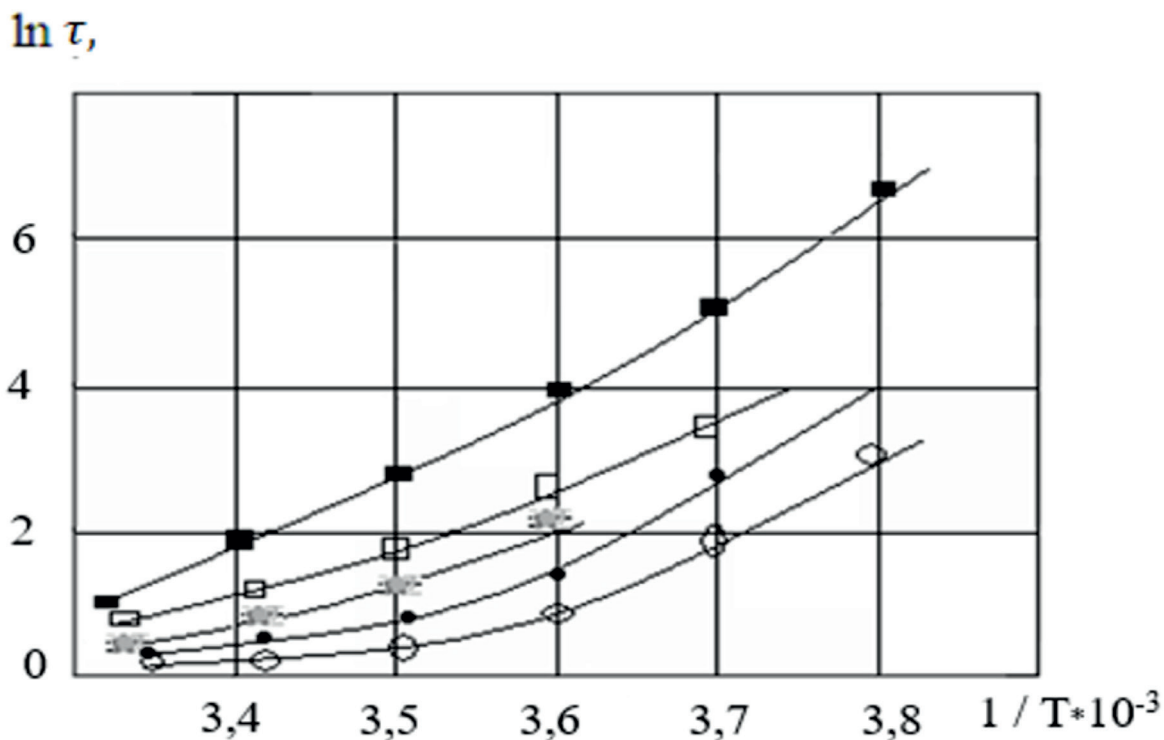


Рисунок 3. Зависимость логарифма времени старения от обратной температуры:

1 - ■ -  $g_{H_2O_2} = 0,9$ ; 2- \* -  $g_{H_2O_2} = 0,8$ ;

3- ◇ -  $g_{H_2O_2} = 0,7$ ; 4- ● -  $g_{H_2O_2} = 0,6$ ; 5 - о -  $g_{H_2O_2} = 0,5$

Анализ значений константы А показал, что он является функцией доли массы магнитных порошков [14, 15].

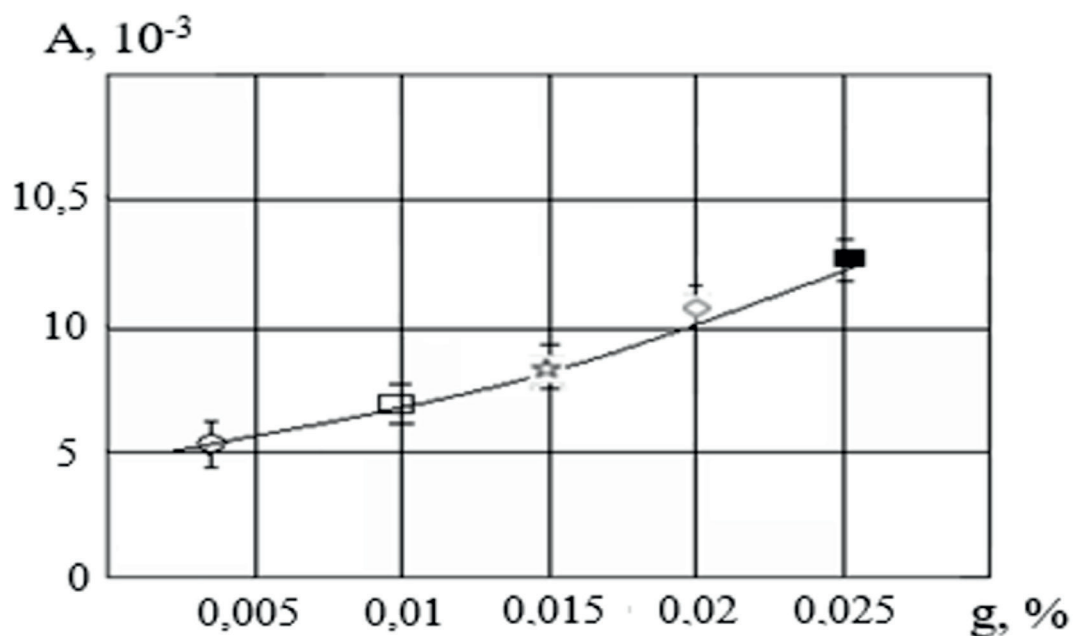


Рисунок 4. Зависимость константы А смеси от доли массы воды при температуре 278К [13]:

- 1 - o -  $g_{H_2O_2} = 0,9$ ,  $g_{H_2O} = 0,2$ ; 2 - □ -  $g_{H_2O_2} = 0,8$ ,  $g_{H_2O} = 0,4$ ; 3 - ☆ -  $g_{H_2O_2} = 0,7$ ,  
 $g_{H_2O} = 0,6$ ; 4 - <> -  $g_{H_2O_2} = 0,6$ ,  $g_{H_2O} = 0,8$ ;  
 5- ■ -  $g_{H_2O_2} = 0,5$ ,  $g_{H_2O} = 1,0$ .

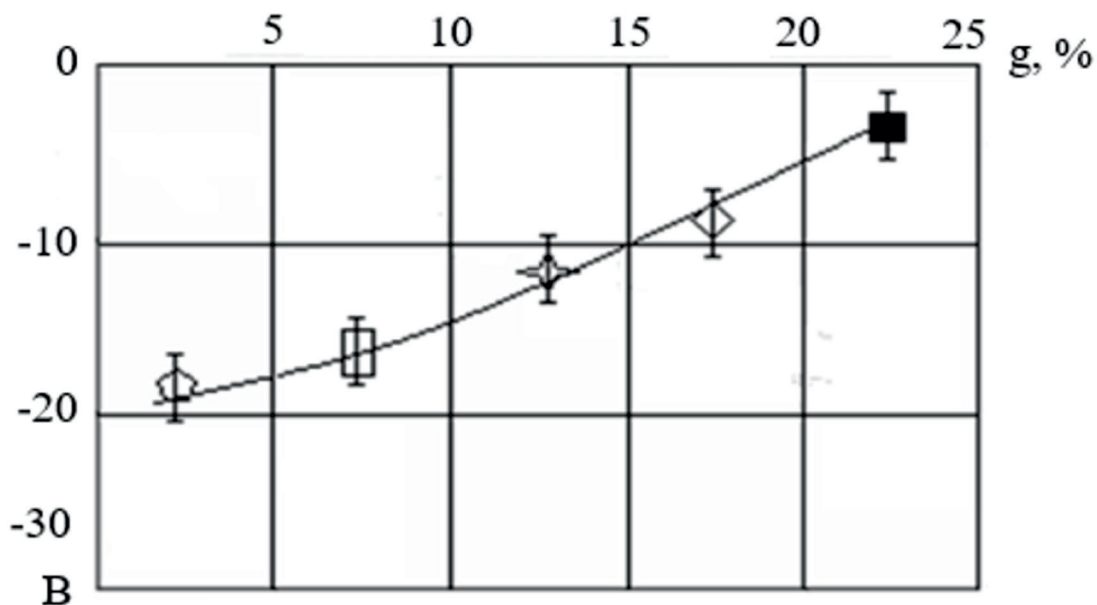


Рисунок 5. Зависимость В от гмп в смеси от доли массы воды при температуре 278 К.:

- 1 - o -  $g_{H_2O_2} = 0,9$ ,  $g_{мп} = 0,2$ ; 2 - □ -  $g_{H_2O_2} = 0,8$ ,  $g_{мп} = 0,4$ ;  
 3 - ☆ -  $g_{H_2O_2} = 0,7$ ,  $g_{мп} = 0,6$ ; 4 - <> -  $g_{H_2O_2} = 0,6$ ,  $g_{мп} = 0,8$ ;  
 5- ■ -  $g_{H_2O_2} = 0,5$ ,  $g_{мп} = 1,0$

Для обработки экспериментальных данных необходимо определить изменение времени и температуры старения для системы пероксид водорода + вода и магнитный порошок.

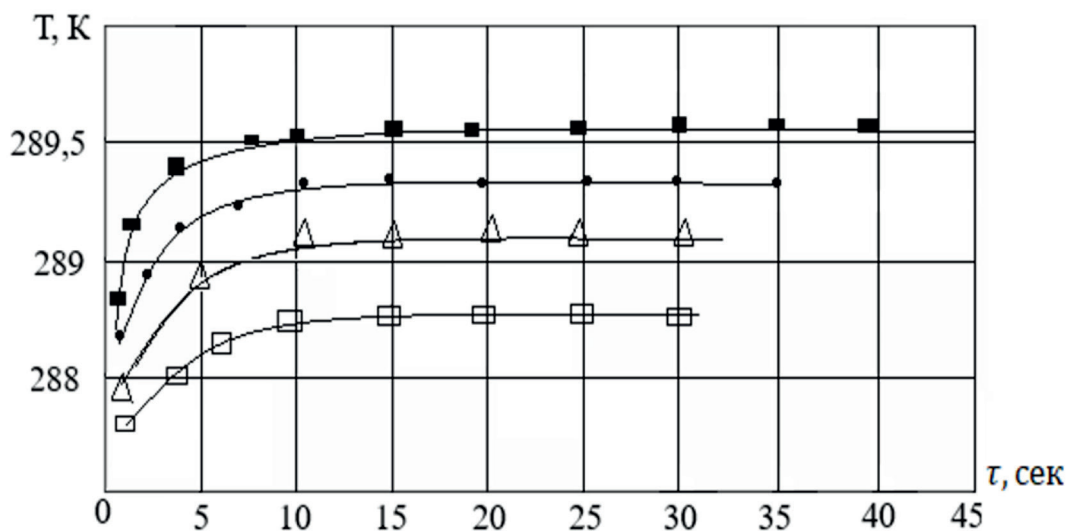


Рисунок 6. Зависимость  $\Delta T$  от времени старения для системы пероксида водорода и воды:

- 1 - ■ -  $g_{H_2O_2} = 0,9$ ,  $g_{H_2O_{\square}} = 0,2$ ; 2 - ● -  $g_{H_2O_2} = 0,8$ ,  $g_{H_2O_{\square}} = 0,4$ ;  
 3 - Δ -  $g_{H_2O_2} = 0,2$ ,  $g_{H_2O_{\square}} = 0,2$ ; 4 - □ -  $g_{H_2O_2} = 0,2$ ,  $g_{H_2O_{\square}} = 0,4$

Из анализа результатов, представленных на рисунке 6, видно что, увеличение температуры и времени старения зависит от доли пероксид водорода [13].

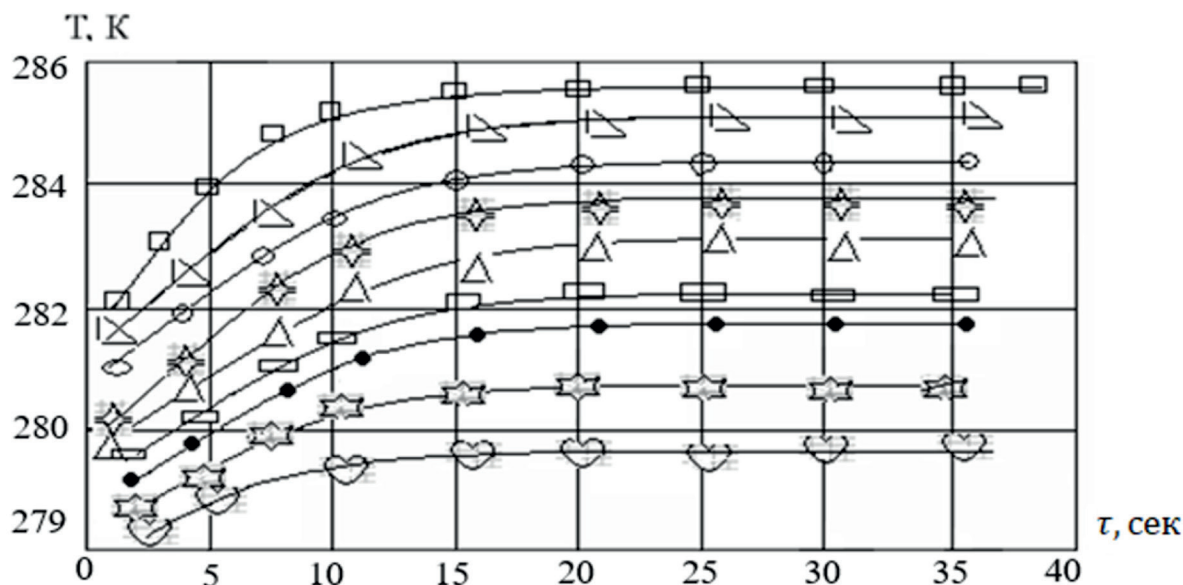


Рисунок 7. Зависимость температуры разложения от доли манганитов.

- 1 - □ -  $g_{H_2O_2} = 0,9$ ,  $g_{H_2O_{\square}} = 0,2$ ; 2 - ▴ -  $g_{H_2O_2} = 0,8$ ,  $g_{H_2O_{\square}} = 0,4$ ; 3 - ○ -  $g_{H_2O_2} = 0,7$ ,  $g_{H_2O_{\square}} = 0,28$ ; 4 - ◇ -  $g_{H_2O_2} = 0,6$ ,  $g_{H_2O_{\square}} = 0,3$ ; 5 - Δ -  $g_{H_2O_2} = 0,5$ ,  $g_{H_2O_{\square}} = 0,35$ ; 6 - □ -  $g_{H_2O_2} = 0,4$ ,  $g_{H_2O_{\square}} = 0,4$ ; 7 - ● -  $g_{H_2O_2} = 0,3$ ,  $g_{H_2O_{\square}} = 0,45$ ; 8 - ☆ -  $g_{H_2O_2} = 0,2$ ,  $g_{H_2O_{\square}} = 0,5$ ; 9 - ♥ -  $g_{H_2O_2} = 0,1$ ,  $g_{H_2O_{\square}} = 0,55$

Как видно из анализа рисунка 7, с увеличением массовой доли магнитного порошка увеличивается температура старения системы пероксида водорода и воды. Время старения исследуемых объектов, температура и давление необходимы для уточнения срока службы материала теплоносителя.

### Выводы

1. Разработанная модель зонирования Зоркульского государственного заповедника представляет собой научно обоснованный инструмент адаптивного управления высокогорными экосистемами, позволяющий дифференцировать режимы охраны и природопользования в зависимости от экологической ценности, уязвимости и восстановительного потенциала территорий.

2. Применение комплексного подхода, сочетающего полевые исследования, оценку экологической ёмкости пастбищ и геоинформационный анализ, обеспечивает объективную основу для пространственного планирования, снижает риски деградации пастбищных и водно-болотных экосистем и способствует сохранению местообитаний ключевых редких видов.

3. Интеграция международного опыта и участие местных сообществ в рамках переходной зоны создают предпосылки для сбалансированного сочетания природоохранных задач и социально-экономических интересов, повышая устойчивость системы управления заповедником в условиях нарастающего антропогенного и климатического давления.

## Литература

1. Зарипов, Дж. А. Термограммы перекиси водорода и сажи. / Дж. А. Зарипов, М. М. Сафаров // Вестн. ТТУ. – 2010. – С. 123 – 125.
2. Печенюк, С. И. Исследование газообразных продуктов термолитиза двойных комплексных соединений, содержащий катион  $[Cr(ur)_6]^{3+}$  и  $ur-CO(NH_2)_2$  в атмосфере воздуха и аргона. / С. И. Печенюк, А. Н. Гостева, И. В. Кривцов // Термический анализ и калориметрия (RTAC-2013) : сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф., С.-Петербург, 23–28 сент. 2013 г. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – С. 61–63.
3. Теплопроводность жидкостей и газов / Н. Б. Варгафтик [и др.]. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 471 с.
4. Миркин, Л.И. Рентгеноструктурный анализ: Индексирование рентгенограмм: Справочное руководство / Л. И. Миркин. – М.: Наука, 1981г. – 495с.
5. Thermodynamic Investigation of Phase Formation Processes in the Systems  $La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_3 - x$  and  $Gd-Sb$  / М. М. Safarov [et al.] // Eighteenth symposium on thermophysical properties, Boulder, CO, USA, June 24–29, 2012: abstract. – [USA], 2012. – P. 301.
6. Расчетно-экспериментальное значение коэффициента диффузии зернистых материалов: а. с. 0139 ТГ / Дж. А. Зарипов, М. М. Сафаров, М. Д. Пирмадов. – опубл. 09.06.09. – 4 с.
7. Алиев, А. М. Магнетокалорические свойства манганитов  $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$  с изотопическим замещением  $^{16}O - ^{18}O$  / А. М. Алиев. И. К. Камалов // Физика фазовых переходов: сб. тр. 20 Всерос. шк. - семинара молодых ученых, посвящ. 55-летию создания Ин-та физики и 105-летию со дня рожд. чл.-корр. АН СССР Х. И. Амирханова. – Махачкала: Ин-т физики ДНЦ РАН, 2012. – С. 95–97.
8. Балыкин, В. П. Кинетические особенности процесса термической деструкции тетрааминкупросульфата / В. П. Балыкин, Т. Н. Исаева // Термический анализ и калориметрия (RTAC – 2013) : сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф., С.-Петербург, 23 – 28 сент. 2013 г. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – С. 39 – 42.
9. Coats, A. W. Kinetic parameters from thermogravimetric data / A. W. Coats, J. P. Redfern // Nature. – 1964. – Vol. 201. – P. 68–69.
10. Arrhenius S. Z. Ueber die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Inversion von Rohrzucker durch Säuren // Z. phys. Chem. – 1889. – Bd.4. – S. 226–248.
11. Химический энциклопедический словарь / гл. ред. И. Л. Кнунянц. – М.: Советская энцикл. 1983. – 792 с.
12. Зарипов, Дж. А. Термограммы перекиси водорода и сажи / Дж. А. Зарипов, М. М. Сафаров // Вестник. ТТУ. – 2010. – С. 123–125.
13. Погодин, В. П. Теплопроводность водных растворов электролитов и некоторые вопросы их строения // Термодинамика и строение растворов: межвуз. сб. – Иваново, 1975. – Вып. 2. – 20с.
14. Френкель Я. И. Кинетическая теория жидкостей / Я. И. Френкель. – Л. : Наука, 1975. – 692с.
15. Термические константы веществ. Справочник, под ред. В.П.Глушко, в. 1 – 10, 1965 – 82. См. также лит. при статьях Калориметрия, Термохимия. М. Ю. Панов.

## ОМУЗИШИ КУҲНАШАВИИ ЭЛЕКТРОЛИТҲОИ СИСТЕМАИ ОБ + ПЕРОКСИДИ ХИДРОГЕД + ХОКАИ МАГНИТӢ

Зарипов Ҷ.А.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи ақ.М.С.Осимӣ

\*Муаллифи масъул: E-mail: jz-1972@mail.ru.

**Шарҳи мухтасар.** Хангоми истифодабарии маҳсулот бо мурури замони куҳнашавӣ ё сифати онҳо паст шуда, хосиятҳои термикӣ ва ё физики-химиявӣ худро гум мекунанд. Пастшавии сифати маҳсулот аз ҳарорат ва таъсири фишори атмосферӣ вобастагии калон дорад, ки дар натиҷа боиси пастшавии сифати он мегардад. Одатан ин куҳнашавии маҳсулоти органикӣ ва ё нанокмпозитҳо аз руи назарияи Аррениус-Айринг муайян карда мешавад.

**Калидвожаҳо:** ҳарорат, вақт, об, пероксиди гидроген, масса, фишор, термopapа.



## STUDIES OF AGING OF ELECTROLYTES IN THE WATER + HYDROGEN PEROXIDE + MAGNETIC POWDER SYSTEMS

Zaripov J.A.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi

\*Corresponding author. E-mail jz - 1972 @ mail.ru.

**Abstract.** During operation, products age or deteriorate over time, losing their thermal or physical-chemical properties. The deterioration of product properties largely depends on temperature and atmospheric pressure, which ultimately leads to a decrease in its quality. Typically, the aging of organic products or nanocomposites is determined by the Arrhenius-Eyring theory.

**Key words:** temperature, time, water, hydrogen peroxide, mass, pressure, thermocouple.

**Маълумот оид ба муаллиф.** Зарипов Ҷамшед Абдусаломович. ДТТ ба номи ак. М.С. Осимӣ. номзади илмҳои техника, дотсент, ш. Душанбе. Факултети энергетика, кафедраи техника ва энергетикаи гармо - и Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон, Тел. (+92) 919623326, E-mail jz - 1972 @ mail.ru.

**Сведения об авторе.** Зарипов Ҷамшед Абдусаломович. ТТУ имени акад. М.С. Осими. кандидат технических наук, доцент. г. Душанбе. Энергетический факультет, кафедра техники и теплоэнергетики. Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими тел. (+92) 919623326, E-mail: jz - 1972 @ mail.ru.

**Information about the author.** Zaripov Jamshed Abdusalomovich. TTU named after ak. M.S. Osimi. candidate of Technical Sciences, professor. Dushanbe. Faculty of Power Engineering, Department of Technology and Heat Power Engineering, Tajik Technical University, Tel. (+92) 919623326, E-mail jz - 1972 @ mail.ru.

УДК: 665.637.2:544.723:541.183

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ ПУТЁМ МИНИМИЗАЦИИ ИСПАРЕНИЯ ЛЁГКИХ ФРАКЦИЙ

Почоев А.А.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Горно-металлургический институт Таджикистана

\*Автор-корреспондент. E-mail: anushervon.pochoev@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается инновационный подход к снижению потерь лёгких углеводородов нефти от испарения путём применения раствора поверхностно-активного вещества (ПАВ) на основе гидроксида кальция ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Проведённые лабораторные испытания показали, что использование ПАВ способствует образованию тонкой защитной плёнки на поверхности нефти, что снижает интенсивность испарения на 35–50%. Метод обладает технологической простотой, экологической безопасностью и может быть интегрирован в существующие системы хранения нефти, включая резервуары типа РВС-2000. Результаты исследования подтверждают эффективность предложенного решения и его экономическую целесообразность для нефтяных предприятий, особенно в условиях жаркого климата и открытого хранения.

**Ключевые слова:** лёгкие углеводороды, испарение нефти, поверхностно-активные вещества (ПАВ), гидроксид кальция, снижение потерь, нефтехранилище, экологическая безопасность, защитная плёнка, технология хранения нефти.

### Введение

Для ряда жидкостей, в том числе и для нефтепродуктов, зависимость температуры кипения от давления неизвестна. Эту зависимость для каждого данного случая приходится определять опытным путём,

находя ряд значений температур кипения и соответствующие им температуры. В нефтяной практике определяют как температуры кипения при различных давлениях, так и давления насыщенных паров при различных температурах [1].

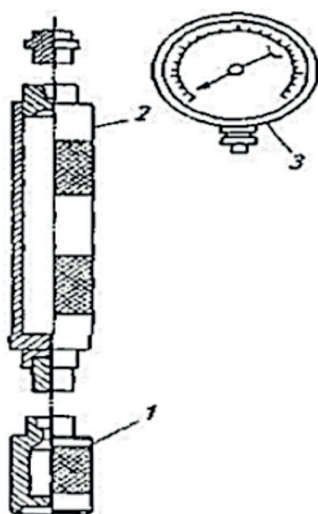
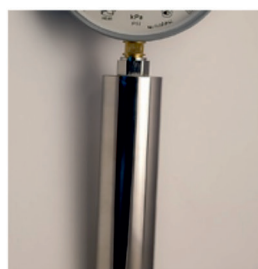
Давление насыщенных паров — это давление, при котором пар, находящийся над жидкостью, находится в равновесии с самой жидкостью при заданной температуре. Оно определяется как давление, при котором количество молекул, испаряющихся из жидкости, равно количеству молекул, конденсирующихся обратно в жидкость. Этот параметр является ключевым для понимания термодинамических свойств веществ, так как он определяет, при какой температуре вещество начнёт кипеть или конденсироваться.

**Методика проведения исследований.** Существует несколько методик измерения давления насыщенных паров. Одним из распространённых методов является использование манометра с температурным контролем, который позволяет измерять давление в закрытом сосуде при установленных температурах. Другим подходом является метод, основанный на криоскопии и динамическом измерении, где давление насыщенных паров определяют путём анализа изменения температуры замерзания растворённого вещества. Также применяются современные автоматизированные системы, которые обеспечивают высокую точность и воспроизводимость результатов за счёт использования специализированных датчиков и программного обеспечения [2].

Одним из способов определения давления насыщенных паров является его определение в специальных бомбах. Сущность способа определения давления насыщенных паров в бомбах заключается в том, что испытываемую жидкость загружают в прибор той или иной конструкции и нагревают до необходимой температуры. Давление насыщенных паров при данной температуре фиксируется специальным манометром.

Наибольшим распространением пользуется прибор типа Рейда, принятый в качестве стандартного для измерения давления насыщенных паров. В дальнейшем устройство принято называть Бомба-Рейда.

Измерение давления насыщенных паров в Бомбе-Рейда является важной методикой для определения термодинамических свойств жидкостей. Данный прибор представляет собой специализированное оборудование, предназначенное для точного измерения давления насыщенных паров в закрытом сосуде (рис.1). Этот метод основан на использовании герметично закрытого контейнера, в котором находящаяся жидкость достигает равновесного состояния с паром при заданной температуре.



**1 – топливная камера;**

**2 – воздушная камера;**

**3 – манометр.**

**Рисунок 1.** Прибор Бомба-Рейда для определения давления насыщенных паров

Предмет исследований. Для определения давления насыщенных паров в работе использовались пробы нефти разных свойств из центрального пункта сбора нефти (ЦПСН) месторождения «Канибадам», скважины №22 месторождения Сель-Рохо (КИМ), скважины №5 месторождения Махрам и скважины №152 месторождения Ниязбек-Северный Каракчикум. В качестве нефтепродукта была

взята проба бензина марки АИ-92. Следует отметить, что проба нефти из ЦПСН «Канибадам» является товарной нефтью, а со скважин нефтяных месторождений – сырой. Перед исследованием давления насыщенных паров нефти, пробы со скважин проходили этап обезвоживания с использованием деэмульгатора Дисолван – 4411. Показатели плотности нефти приведены в таблице 1 [3].

Таблица 1. Плотность нефти по месторождениям.

№	Месторождение	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
1	Сель-Рохо (КИМ)	840
2	Махрам	860
3	Ниязбек-Северный Каракчикум	830

Все опыты по определению давления насыщенных паров нефти и нефтепродуктов проводились согласно ГОСТ 1756-2000.

Экспериментальная часть. Согласно методике, проведение опытов по определению давления насыщенных паров, производится следующим образом. Топливную камеру заполняют исследуемым топливом (бензин, нефть и др.) в объёме 135 мл. После этого, топливная камера герметично присоединяется к воздушной камере устройства. К воздушной камере герметично присоединяется манометр с пределом измерения от 0 до 760 мм.рт.ст

(до 1 кгс/см<sup>2</sup>). Следует отметить, что при обнаружении пропусков воздуха в соединительных элементах прибора, показатели манометра полностью аннулируются. Исходя из этого, перед погружением все соединительные элементы следует тщательно проверить на герметичность. Опыт имеет продолжительность до того момента, пока показание на манометре не будет меняться. В среднем один опыт по определению давления насыщенных паров длится 40 минут.

Результаты исследования по отдельным образцам нефти приведены на следующих графиках (рис. 2-6).

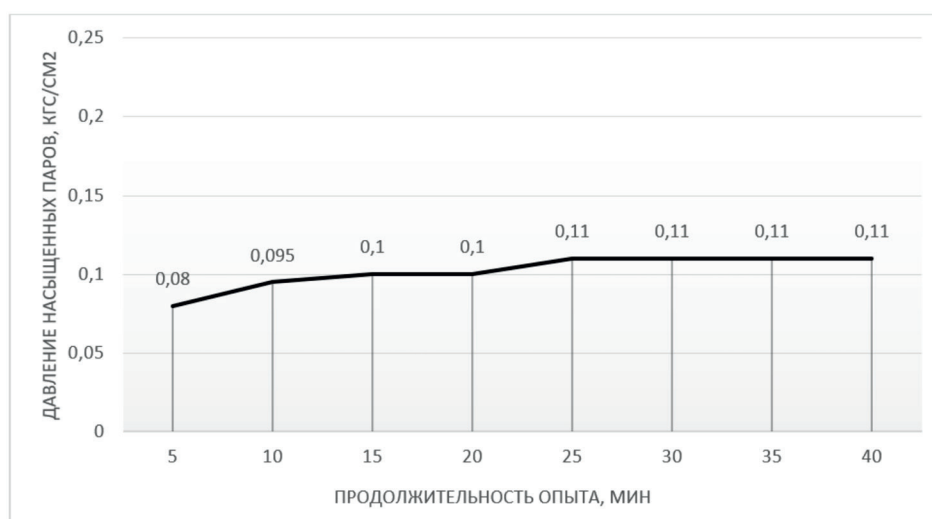
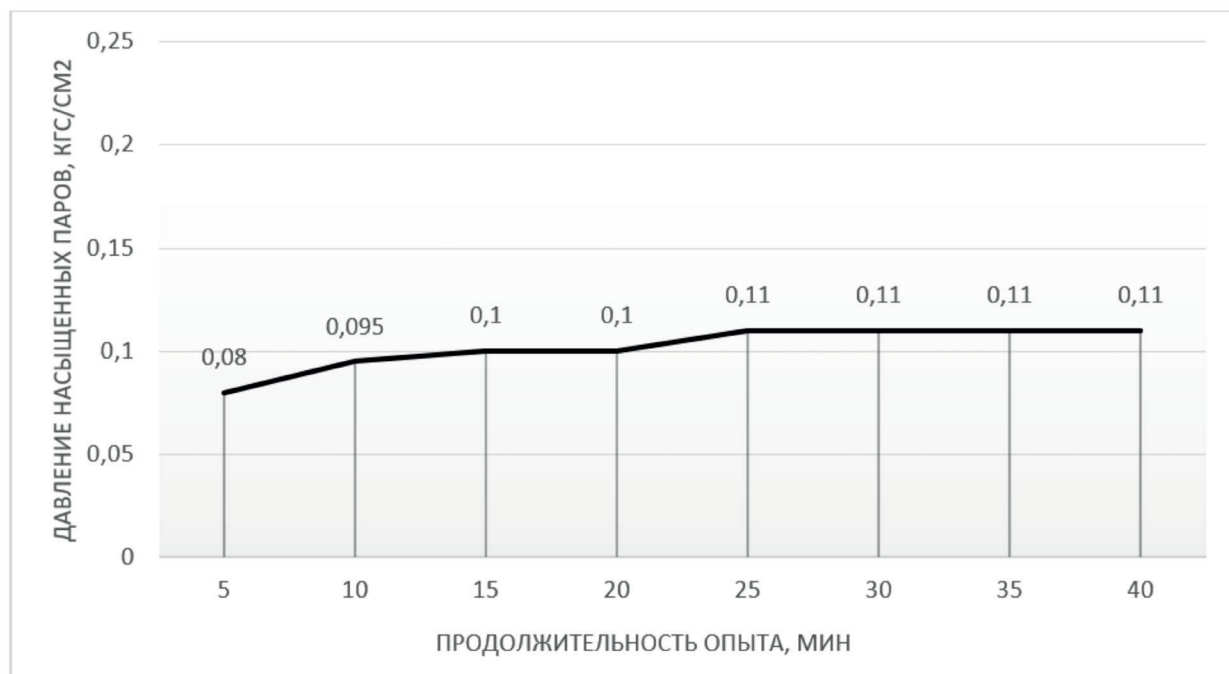
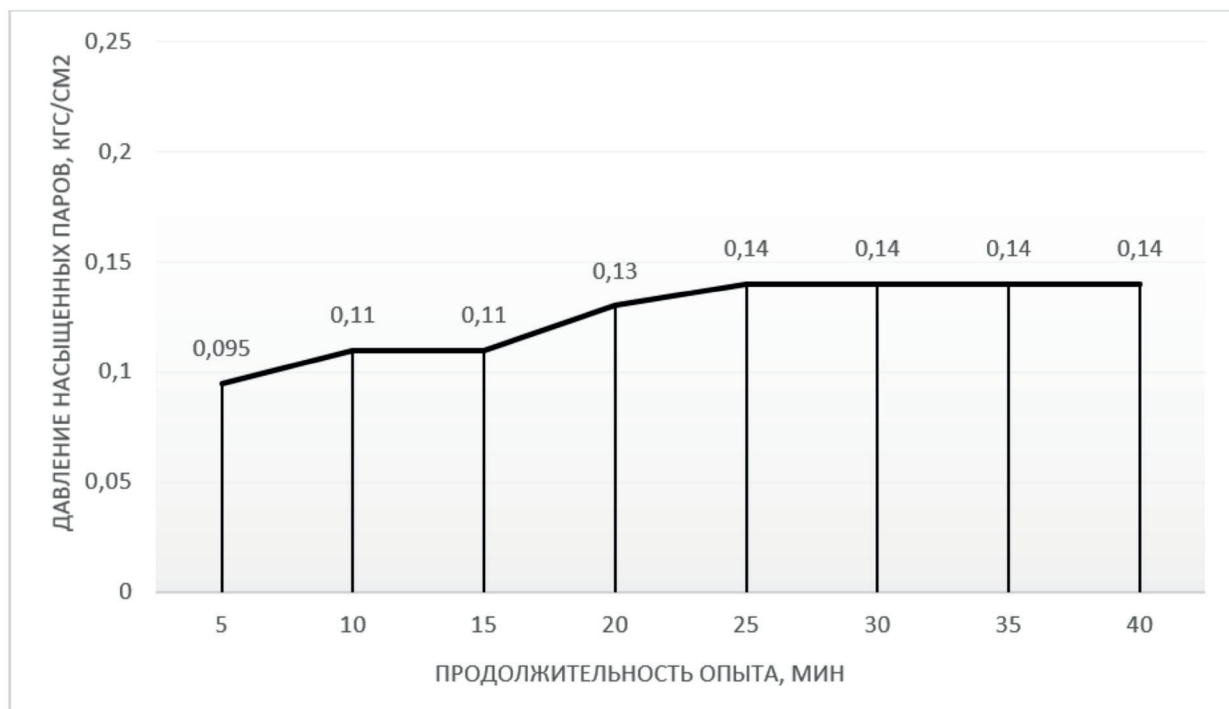


Рисунок 2. Давление насыщенных паров нефти (ЦПСН «Канибадам») [3].

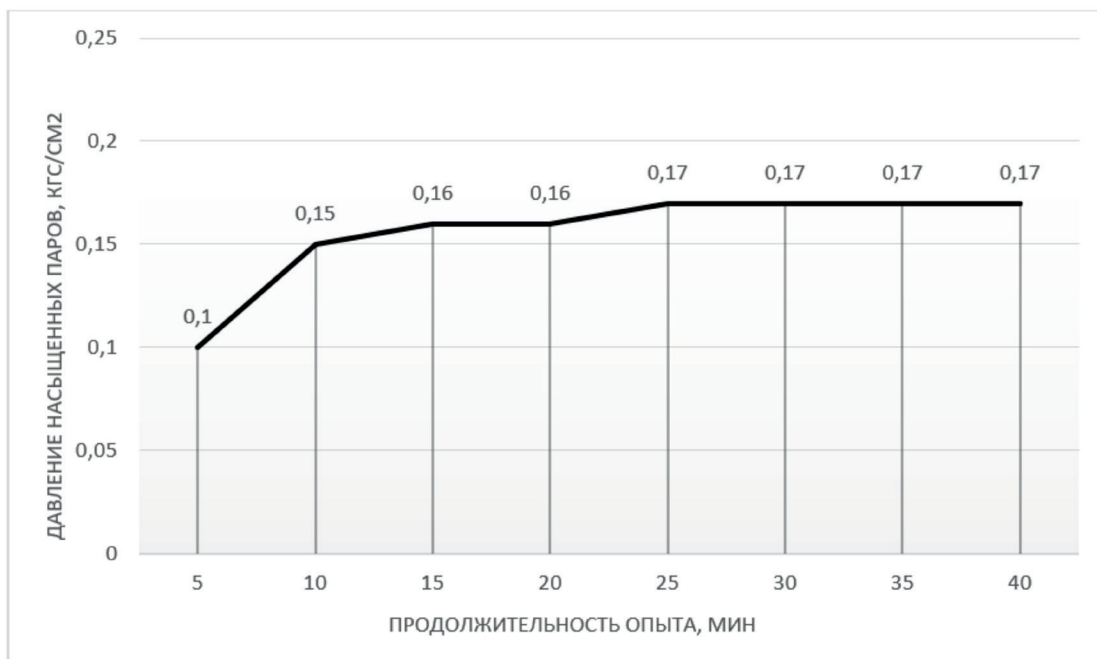


**Рисунок 3.** Давление насыщенных паров нефти (скв. №22 Сель-Рохо (КИМ)) [3].

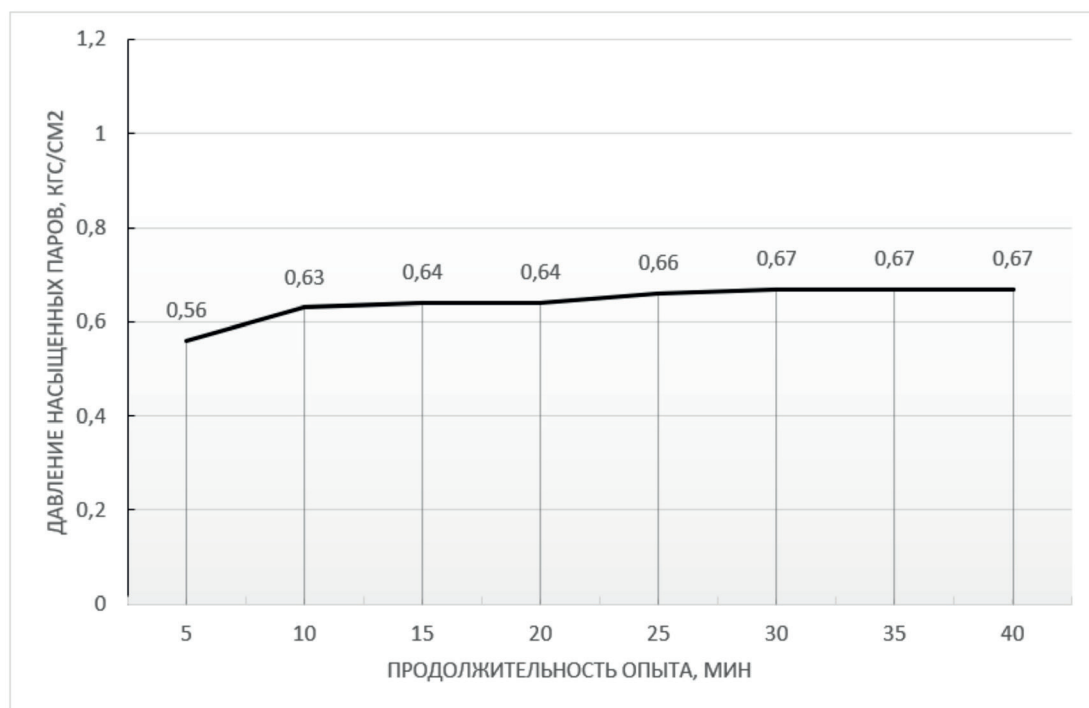


**Рисунок 4.** Давление насыщенных паров нефти (скв. №5 Махрам) [3].





**Рисунок 5.** Давление насыщенных паров нефти (скв. №152 Ниязбек-Северный Каракчикум) [3].



**Рисунок 6.** Давление насыщенных паров нефтепродукта (бензин АИ-92) [3].

**Обсуждение результатов.** По результатам исследования выявлено, что давление насыщенных паров образцов нефти месторождений составляет, соответственно: Сель-Рохо (КИМ) – 0,16 кгс/см<sup>2</sup> (15,66 кПа), Махрам – 0,14 кгс/см<sup>2</sup> (13,7 кПа), Ниязбек-Северный Каракчикум – 0,17 кгс/см<sup>2</sup> (16,67 кПа). В среднем давление насыщенных паров нефтей составляет 0,15 кгс/см<sup>2</sup> (14,7 кПа).

При каждом опорожнении и последующем заполнении нефтяных резервуаров происходят значительные потери лёгких углеводородов, что приносит значительный экологический и экономический ущерб [4].

Известно, что упругость паров бензина снижается введением в него присадки  $[C_nH_{2n}+1COO]_2Ni$ , где  $n=10-16$  [5]. Однако, введение в нефть никеля отрицательно сказывается на одном из основных процессов переработки нефти - каталитическом крекинге.

Известен способ сокращения потерь лёгких углеводородов от испарения при их использовании, где снижение потерь достигается путём ввода в них присадки  $[C_nH_{2n}+1COO]_2Zn$  (где  $n=10-16$ ) в концентрации 0,000925-0,001% и применяется в основном для предотвращения потерь бензина от испарения [6].

Недостатками данного способа по снижению потерь лёгких углеводородов является отрицательное воздействие цинка на свойства нефти или нефтепродукта (бензина), в результате чего возможны образования нежелательных продуктов, таких как осадки и смолы. Это ухудшает

характеристики топлива и может вызывать загрязнение двигателей.

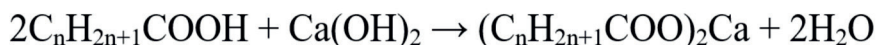
Наиболее близким способом является способ снижения потерь лёгких углеводородов нефти и нефтепродуктов путём ввода в неё 18-22 мг/кг присадки, представляющей собой  $C_nH_{2n}+1COOK$ , где  $n=10-16$  [7].

Недостатками такого способа снижения потерь лёгких углеводородов нефти и нефтепродуктов является повышенная щёлочность. Калий является высокореактивным металлом, особенно в присутствии воды, что может ограничить его применение. Помимо этого, калий при утечке может вызвать значительное загрязнение водных объектов, а также вызывать ненужные побочные реакции из-за своей химической активности.

**Целью 2-го этапа исследований**, приведённых в данной работе является сокращение потерь лёгких углеводородов путём ввода в них раствора поверхностно-активных веществ с добавлением присадки на основе гидроксида кальция ( $Ca(OH)_2$ ).

Суть технического решения заключается в снижении упругости паров нефти или нефтепродукта. Указанное техническое решение достигается тем, что способ снижения упругости паров нефти заключается в введении в неё присадки, представляющей собой  $(C_nH_{2n}+1COO)_2Ca$ , где  $n=15, 17$ . Кроме этого, указанную присадку вводят в нефть из расчёта 15-25 мг/кг [8].

Ниже приведена зависимость реакции раствора ПАВ с  $Ca(OH)_2$ :



Способ, основанный на использовании  $(C_nH_{2n+1}COO)_2Ca$  выгодно отличается от известных решений использованием плёночной жидкости на основе ПАВ, что обеспечивает простоту применения, гибкость и высокую эффективность снижения потерь при испарении.

Раствор готовится из гидроксида кальция ( $Ca(OH)_2$ ) и дистиллированной воды в равном молярном соотношении. Постепенно, при температуре 60°C, добавляют по 10 г синтетических жирных кислот (СЖК), таких как пальмитиновая и стеариновая кислоты. В качестве рас-

творителей СЖК используются фенол и бензол. Смесь постоянно перемешивается до полного завершения реакции. Затем полученный раствор охлаждают до комнатной температуры и оставляют на 3 суток для испарения излишков воды [8].

Основными критериями оценки эффективности использования раствора яв-

ляется снижение испарения лёгких углеводородов, а также сохранение физических и химических свойств нефти.

Эффективность присадки по результатам исследований на упругость паров нефти, приведена на рис. 7.



Рисунок 7. Зависимость давления насыщенных паров нефти от концентрации  $(C_n H_{2n} + lCOO)_2Ca$  [8].

По полученным данным установлено, что при концентрации присадки от 15 до 25 мг/кг показатели давления насыщенных паров нефти минимальные.

### Выводы

Проведённое исследование подтвердило эффективность применения раствора поверхностно-активного вещества на основе гидроксида кальция ( $Ca(OH)_2$ ) в качестве средства для снижения испарения лёгких углеводородов при хранении нефти. На основе лабораторных испытаний установлено, что данное решение способствует образованию устойчивой защитной плёнки на поверхности нефти, которая уменьшает интенсивность испарения на 35–50% по сравнению с необработанными образцами.

Технология отличается простотой вне-

дрения, не требует сложного оборудования и может быть легко адаптирована к существующим резервуарным системам хранения, включая РВС-2000. Немаловажно, что компоненты раствора обладают низкой токсичностью, что делает метод экологически безопасным.

Полученные результаты подтверждают как техническую, так и экономическую целесообразность внедрения разработанного метода на объектах нефтяной инфраструктуры, особенно в условиях жаркого климата и открытого хранения. Применение ПАВ-раствора на основе  $Ca(OH)_2$  позволяет существенно снизить объёмы потерь нефти, минимизировать выбросы в атмосферу и повысить уровень промышленной и экологической безопасности.

## Литература

1. Рыбак Б.М. Анализ нефти и нефтепродуктов / Б.М. Рыбак // 5-е издание, Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы – М.: Гостоптехиздат, 1962. – 886 с.
2. Эллис К. Химия углеводородов нефти и их производных / К. Эллис // т.1. Пер. с англ. ОНТИ, 1937. – 245 с
3. Почоев А.А. О показателях давления насыщенных паров нефти и нефтепродуктов Северного Таджикистана / Р.О. Азизов, З.А., Разыков // сборник материалов научно-технического и производственного журнала “Горный вестник”, №98, июль-сентябрь 2024, с. 14-18
4. Тугунов П.И. и др. Транспорт и хранение нефти и газа. - М.: Недра, 1975- 188 с.
5. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа. - Уфа: Гилем, 2002 - 672 с.
6. Патент RU 2256693 C1 опубликован 20.07.2005 Бюллетень №20
7. Патент RU 2458973 C1 опубликован 09.06.2011 Бюллетень №23
8. Патент TJ 1608 опубликован 25.06.2025 Бюллетень №220

## БАЛАНД БАРДОШТАНИ САМАРАНОКИИ НИГОҲДОРИИ НАФТ ТАВАССУТИ ПАСТ НАМУДАНИ БУХОРШАВИИ ФРАКСИЯҲОИ САБУК

Почоев А.А.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Донишқадаи кӯҳию металлургии Тоҷикистон

\*Муаллифи маъҷул. E-mail: anushervon.pochoev@mail.ru

**Шарҳи мухтасар.** Дар мақола усули инноватсионии паст намудани талафоти гидрокарбонҳои сабуки нафти аз бухоршавӣ, бо истифодаи маҳлули моддаи фаъоли сатҳӣ (МФС) дар асоси гидроксидаи калсий ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), баррасӣ мешавад. Санҷишҳои лабораторӣ нишон доданд, ки истифодаи чунин маҳлул қабати муҳофизатии тунуқеро ба вуҷуд оварда, суръати бухоршавиро то 35–50% коҳиши медиҳад. Усули пешниҳодишуда содда дар истифода, аз ҷиҳати экологӣ беҳатар буда, метавонад ба низомҳои мавҷудаи нигоҳдории нафти, аз ҷумла ба зарфҳои навъи RVS-2000, мутобиқ карда шавад. Натиҷаҳо самаранокии технологияи пешниҳодишударо собит намуда, барои ширкатҳои нафтиву газӣ, бахусус дар минтақаҳои гармӣ иқлим, муҳим арзёбӣ мегарданд.

**Калидвожаҳо:** гидрокарбонҳои сабук, бухоршавии нафти, моддаҳои фаъоли сатҳӣ (МФС), гидроксидаи калсий, коҳиши талафот, нигоҳдории нафти, амнияти экологӣ, қабати муҳофизатӣ, технологияи нигоҳдорӣ.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF OIL STORAGE BY MINIMIZING THE EVAPORATION OF LIGHT FRACTIONS

Pochoev A.A.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Mining Metallurgical Institute of Tajikistan

\*Corresponding author. E-mail: anushervon.pochoev@mail.ru

**Abstract.** The article presents an innovative approach to reducing the evaporation losses of light hydrocarbon fractions from crude oil by using a surface-active agent (surfactant) solution based on calcium hydroxide ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Laboratory experiments demonstrated that the application of this solution forms a thin protective film on the oil surface, reducing evaporation rates by 35–50%. The method is technologically simple, environmentally safe, and can be integrated into existing oil storage systems, including RVS-2000 type tanks. The results confirm the effectiveness and economic feasibility of this solution for oil enterprises, especially in regions with hot climates and open storage conditions.

**Keywords:** light hydrocarbons, oil evaporation, surfactants, calcium hydroxide, loss reduction, oil storage, environmental safety, protective film, RVS-2000, oil storage technology.



**Сведения об авторе.** Почоев Анушервон Абдукосимович – старший преподаватель кафедры геологии и нефтегазового дела, Горно-металлургический институт Таджикистана. Адрес: 735730, Таджикистан, г. Бустон, ул. Баротов А. (Московская 6). Телефон: +992 92 766-65-33, E-mail: anushervon.pochoev@mail.ru

**Маълумот оид ба муаллиф.** Почоев Анушервон Абдукосимович – муаллими калони кафедраи геология ва корҳои нафту газ, Донишқадаи кӯхию металлургии Тоҷикистон. Суроға: 735730, Тоҷикистон, ш. Бӯстон, к. А. Баротов 6 (Московская 6). Телефон: +992 92 766-65-33, E-mail: anushervon.pochoev@mail.ru

**Information about the authors.** Pochoev Anushervon Abdukosimovich – Senior Lecturer at the Department of Geology and Oil and Gas Business, Mining-metallurgical Institute of Tajikistan. Address: 735730, Tajikistan, Buston, st. Barotov A. (Moskovskaya 6). Phone number: +992 92 766-65-33, E-mail: anushervon.pochoev@mail.ru.

УДК 551.24

## АРЗЁБИИ ГЕОЭКОЛОГИИ ПАРВАРИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ЗАРАФШОН: ДУРНАМОИ ИСТИФОДАБАРӢ ДАР СОҲАИ САӢЁӢӢ ЭКОЛОГӢ

Муллоализода М.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Донишгоҳи давлатии Қӯлоб ба номи А.Рӯдакӣ

\*Муаллифи масъул: E-mail: ibrogimova2026@bk.ru

**Шарҳи мухтасар.** Дар мақола таҳлили натиҷаҳои тадқиқот оид ба рушди туризми экологӣ дар ҳудуди парваришгоҳи давлатии Зарафшон оварда шудааст. Дар асоси таҳлили вазъи мавҷуда модели рушди сайёҳии экологӣ пешниҳод карда шудааст, ки ҳадафи асосии он ноил шудан ба мутобиқият дар соҳаи ҳамкории инсон бо омилҳои табиӣ ва иҷтимоӣ, баланд бардоштани сатҳи маърифати экологии аҳолии мебошад, инчунин риояи талаботи муқарраршудаи стандартҳои экологӣ ва ҳуқуқи идоракунӣ устувори муҳити зист. Принципҳои асосии он метавонанд, барои рушди устувори сайёҳӣ ва рекреатсионӣ, ташиқкули инфрасохтори муосир, ташиқкули хатсайрҳои муосирӣ сайёҳӣ ва маҳсулоти сайёҳӣ, системаҳои табиқӣ он, инчунин ташиқкули консепсияи рушди дарозмуддат барномаи рушди сайёҳии экологӣ дар ҳудуди муайян.

**Калидвожаҳо:** туризми экологӣ, мамнӯъгоҳҳо, ҳудудҳои табиӣ махсус муҳофизатшаванда, таъсири антропогенӣ, инфрасохтор, идоракунӣ муҳити зисти сайёҳӣ, паравришгоҳ.

### Введение

Дар қаламрави Ҷумҳурии Тоҷикистон бовучуди мавҷудияти захираҳои бойи сайёҳӣ, механизми идоракунӣ соҳаи сайёҳии экологӣ то кунун ба таври мукамал қор карда барои мада нашудааст. Мушкилоти маъмур махсусан барои Ҳудудҳои махсус муҳофизатшавандаи табиат (ҲТММ) ҳаллу фасли амикро талаб мекунад [6].

Мувофиқи ақидаи М. А. Винокуров, «сайёҳии илмӣ-экологӣ намуди нисбатан нави сайёҳии байналхалқӣ ба шуморафта, моҳияти асосии он саёҳат баҳри гузаронидани таҳқиқоти илмӣ, дарккунӣ ва баланд бардоштани дараҷаи ихтисос мебошад. Намудҳои хусусии сайёҳии илмӣ - инҳо сайёҳии палеонтологӣ, археологӣ, лимнологӣ, спелеологӣ ва ғайра

мебошад. Ғайри аз ин ба таркиботи сайёҳии илмӣ, инчунин иштирок дар экспедицияҳои илмӣ-таҳқиқотӣ, иштирок дар қори симпозиумҳо конференсияҳои илмӣ дохил намудан мумкин аст.

Барои босамар ташиқ намудани сайёҳии қордонӣ истифодаи бо самари ҳудудҳои ҳифзшаванда лозим аст, ки барои ин категорияи сайёҳон нақшаҳо ва барномаҳои муносиби саёҳат ва истироҳатро таҳия намояд, сифатнокӣ ва мувофиқати қори роҳбаладони сайёҳӣ, сиёсати нархӣ ва сифати хизматрасониҳои аз тарафи меҳмонхонаҳо пешниҳод мешударо ба таври қатъӣ назорат намояд [5].

Вобаста ба экосайёҳӣ яке аз роҳҳои истифодаи потенциали захиравии мамнӯъ истифодаи мунтазами табиат мебошад [2].

Дар ҳуччатҳои стратегӣ, ба монанди “Стратегияи рушди иҷтимоӣ-иқтисодии Ҷумҳурии Тоҷикистон то соли 2030”, рушди соҳаи сайёҳӣ ҳамчун яке аз афзалиятҳои инкишофи мамлакат муайян карда шудааст. Дар доираи амалигардонии ҳуччати мазкур, дар ҷумҳурӣ чорабиниҳои бузурги ба рушди сайёҳӣ ва хизматрасониҳои сайёҳӣ - рекреатсионӣ, беҳгардонии инфрасохторҳо ва саноати сайёҳӣ, ташаккулдиҳии механизми бозори идоракунии тичорати сайёҳӣ ва баланд бардоштани ҷолибияти сармоягузори мамлакат ва минтақаҳои он равонагардида, гузаронида шуда истодаанд. Соҳаи мазкур аҳамияти стратегӣ дорад, чунки сектори сайёҳӣ, ки системаи мураккаб мебошад, компонентҳои иҷтимоӣ, иқтисодӣ ва экологиро муттаҳид мекунад [14].

Дар ҳолати ҳамкориҳои мутақобилаи мувозина ва муносибгардонидашудаи ин омилҳо, барои амалигардонии самараноки барномаҳои истифодаи устувори табиат асос ба вучуд оварда мешавад.

Дар ин ҷода диққати асосӣ ба минтақаҳои дорои иқтидорӣ баланди рушди сайёҳӣ, аз он ҷумла ҳудудҳои табиӣ махсус муҳофизатшавандаи (ХТММ), ҷудо карда мешавад [4, 9].

Вазифаи муҳим васеъ гардонидани шабакаҳои ХТММ, бунёди шароитҳо, барои сайёҳӣ, рушди инфрасохтор ва ҳавасмандгардонии тичорати майдаву миёна, мебошанд. Истифодаи устувори табиат ба ғайр аз манфиатҳои иҷтимоӣ-иқтисодӣ, бо доштани функсияҳои муҳофизат ва истифодаи рекреатсионии табиат, нақши муҳими маърифатӣ ва ҳифзи табиатро мебозад.

Ба шароитҳои мусоиди табиӣ-иқлимӣ ва захираҳои рангоранги сайёҳӣ, рекреатсионӣ нигоҳ накарда, сатҳи истифодаи сайёҳии табиат дар ҳудудҳои парваришгоҳи давлатии Зарафшон дар ҳолати паст мемонад ва фаолиятҳои дар он ҷо гузаро-

нидашуда ба талаботи вазифаҳои стратегӣ рушди ҳудудӣ ҷавобгӯ нестанд. Инҳо бо сабабҳои бегаразона ва ғаразноки ба иҷрои вазифаҳои стратегӣ рушди минтақа монечашаванда, алоқаманд мебошанд.

Дар рафти коркарди стратегия метавон диққати асосӣ ба самтҳои зерини калидӣ дода шуданд, ки имкони рушди соҳаи сайёҳии экологиро дар мавзеи омузишӣ мо бо мақсад мувофиқ ҳаст, дар ҳолати баррасӣ қарор додем [15]:

**1. Таҳлили захираҳои сайёҳии ҳудуди парваришгоҳи давлатии Зарафшон** – марҳилаҳои калидии коркарди стратегияи рушди сайёҳӣ мебошанд. Ба раванди мазкур баҳодиҳии потенциали ҳудудӣ ва бунёди база барои истифодаи оқилонаи захираҳои табиӣ ва маданӣ, дохил мешаванд.

Таҳлили мазкур зарур доништа мешавад, ба:

- Муайянкунии потенциал: ба ошкор намудани объектҳои беҳамтои табиӣ ва маданӣ, ки метавонанд барои рушди сайёҳӣ истифода гарданд, имкон медиҳад.
  - Ба нақшаи гирифтани рушд: ба коркарди нақшаҳои рушди сайёҳӣ, муайян намудани самтҳои афзалиятнок ва қайди муҳимтарини онҳо, ёрӣ мерасонад.
  - Муносиб гардонидани истифодаи захираҳо: ба истифодаи оқилонаи захираҳои табиӣ ва маданӣ, камгардонии таъсироти манфии сайёҳӣ ба муҳити атроф, мусоидат мекунад.
  - Бунёд маҳсулоти сайёҳӣ: ба коркарди маҳсулоти рангоранг ва ҷолиби сайёҳӣ, ки талаботи категорияҳои гуногуни сайёҳонро қонеъ мегардонад, имкон медиҳад.
  - Идора намудани сайёҳон: ба танзими анбӯҳи сайёҳӣ, пешгирии сербории ҳудудҳои алоҳида ва нигоҳ доштани тавозуни экологӣ, ёрӣ мерасонад.
- Ба компонентҳои таҳлили захираҳои

сайёҳӣ дохил мешаванд [7]:

- Захираҳои табиӣ: баҳодиҳии гуногуни ландшафтҳо, олами рустаниҳо ва ҳайвонот, шароитҳои иқлим, мавҷудияти объектҳои об ва дигар ҷойҳои табиӣ тамошобоб.
- Захираҳои маданӣ-таърихӣ: таҳқиқи ёдгориҳои таърихӣ, объектҳои археологӣ, анъанаҳои аҳолии маҳаллӣ, хусусиятҳои этнографӣ ва дигар арзишҳои маданӣ.
- Инфрасохтор: Баҳодиҳии инфрасохтори мавҷудбудаи сайёҳӣ [8]. (роҳҳо, меҳмонхонаҳо, ресторанҳо, объектҳои намоишдиҳӣ) ва мутобиқати он ба талаботи сайёҳӣ.
- Дастрасӣ: баҳодиҳии дастарсии ҳудуди барои сайёҳӣ (дастрасии нақлиёт, дараҷаи аз маҳалҳои аҳолинишин дур будан).

## 2. Таҳлили бозор (талабот ва пешниҳод).

Таҳлили бозор дар ҳудуди парваришгоҳи давлатии Зарафшон вобаста ба коркарди стратегияи рушди он, марҳилаи асосӣ мебошад.

- Аёдаткунандаи эҳтимолӣ ки мебошад: кадом гурӯҳҳои одамон ба экосайёҳӣ рағбат доранд, афзалият ва интизориҳои онҳо аз ташриф ба парваришгоҳ.
- Кадом хизматрасониҳо ва маҳсулот дархост мешаванд: дар миёни сайёҳон кадом намуди экскурсияҳо, макони ҷойгиршавӣ ва ҳӯрокаи зиёдтар маъруф мебошанд.
- Рақобат: кадом самтҳои дигари сайёҳӣ метавонанд ба парваришгоҳ рақобат ба вучуд оранд.
- Маҳдудият ва имкониятҳо: кадом маҳдудиятҳои табиӣ, иқлимӣ, инфрасохтор ва ҳамчунин кадом имкониятҳо барои рушди сайёҳӣ мавҷуд мебошанд.
- Кадом маҳдудият ва имкониятҳо мавҷуд мебошанд:

Мақсади асосии гузаронидани таҳлили талабот ва пешниҳодот:

Муайянкунии шунавандагони мақсаднок: фаҳмиши талабот ва афзалиятҳои шунавандагон ба коркард намудани ширкатҳои нисбатан самараноки маркетингӣ имкон медиҳад.

- Коркарди маҳсулот ва хизматрасониҳо: таҳлили талабот барои муайян намудани зарурати пешниҳоди кадом намуди маҳсулот ва хизматрасониҳо ба сайёҳон, ёрӣ мерасонад.
- Муайянкунии арзиш: муқоисаи талабот бо пешниҳод ба муқаррар кардани арзиши муносиби хизматрасонӣ имкон медиҳад.
- Банақшагирии рушди инфрасохтор: таҳлили гузаронидашуда ба муайян намудани он, ки чи гуна объектҳои инфрасохтор барои рушд додан ё бунёд кардан, вобаста ба қонеъ гардонидани талаботи сайёҳон зарур аст, имкон медиҳад [10]:

- Таҳлили бозор — воситаи муҳими рушди муваффақонаи сайёҳӣ, дар парваришгоҳ буда, барои ҳалли асоснокшудаи идоракунӣ ва бунёди маҳсулоти ҷолиби сайёҳон, имкон медиҳад.

- Баҳодиҳии потенциали рушд: таҳлил ба баҳо додани потенциали рушди сайёҳӣ дар ҳудуди парваришгоҳ имкон медиҳад ва самтҳои нисбатан ояндадорро муайян менамояд.

Ҳамзамон, ба таҳлили бозор дохил мешаванд:

- Омӯзиши талабот:
  - Раёйпурсии сайёҳи потенциалӣ.
  - Таҳлили маълумотҳо оид ба давомоти объектҳои сайёҳӣ.
  - Омӯзиши мулоҳизаҳои сайёҳон.
  - Таҳлили анъанаҳои рушди экосайёҳӣ.
- Омӯзиши пешниҳодҳо:
  - Таҳлили маҳсулот ва хизматрасониҳои мавҷудбуда.
  - Баҳодиҳии рақобатпазирии пешниҳодҳои мавҷудбуда.
  - Омӯзиши базаи қонунгузориҳои ғайрӣ

олияти сайёҳиро танзимкунанда.

о Баҳодиҳии инфрасохтор ва мутобиқати он ба талаботи сайёҳӣ.

Натиҷаҳои таҳлили бозорро метавон бомуваффақият истифода бурд, хангоми:

- Коркарди стратегияи маркетингӣ: натиҷаҳои таҳлил барои муайян намудани аудиторияи ба мақсад мувофиқ ва коркарди пешниҳодоти беҳамтои тичоратӣ чихати интихоби роҳҳои пешбурд, ёрӣ мерасонанд.
- Муайян кардани маҳсулот ва хизматрасониҳо: таҳлил ба бунёди маҳсулот ва хизматрасониҳои ба талаботи сайёҳон ҷавобгӯ, имкон медиҳад.
- Муайянкунии арзиш: таҳлил барои муқаррар намудани арзишҳои муносиб вобаста ба хизматрасониҳо ва маҳсулот, ёрӣ мерасонад.
- Банақшагирии рушди инфрасохтор: таҳлил барои муайян кардани он, ки кадом объектҳои инфрасохторро бояд рушд дод ё барои қонеъ гардонидани талаботи сайёҳӣ бунёд намуд, имкон медиҳад.

Таҳлили бозор барои рушди муваффақонаи сайёҳӣ дар ҳудуди парваришгоҳи давлатии Зарафшон воситаи муҳимтарин мебошад. Вай барои қабул кардани қарорҳои асоснокшудаи идоракунӣ, кокарди стратегияҳои самаранокӣ маркетингӣ ва бунёди маҳсулоти ҷолиби сайёҳӣ, имкон медиҳад.

**3. Таҳлили хавфҳо ва ҷораҳои пешгирии онҳо** — қисми ҷудонашавандаи раванди рушди экосайёҳӣ дар ҳамаи ҳудудҳо, аз он ҷумла, парваришгоҳи Зарафшон [2], мебошанд. Марҳилаи мазкур ба ошкор намудани таҳдидҳои ҷойдошта, ки метавонанд ба рушди соҳаи сайёҳӣ таъсири манфӣ расонанд ва коркарди стратегияҳои самаранок барои камгардонии онҳо, имкон медиҳад.

Муносибати мазкур зарур доништа мешавад, барои:

- Таъмини беҳатарии сайёҳон: таҳлили хавфҳо ба ошкор намудани хатарҳои потенсиалии сайёҳон ва дидани ҷораҳои пешгирӣ, имкон медиҳад.
- Ҳифзи муҳити атроф: Ҳаммонандкунии хавфҳои экологӣ ба коркард намудани ҷораҳои ҳифзи мероси табиӣ парваришгоҳ, имконият медиҳад.
- Паст намудани талафоти молиявӣ: пешгирии хавфҳо ба раҳӣ ёфтан аз талафоти молиявӣ, ки бо ҳодисаҳои нохуш, фалокатҳои экологӣ ва дигар ҳодисаҳои манфӣ алоқаманд мебошанд, ёрӣ мерасонад.
- Баланд бардоштани эътиборнокӣ: идоракунии самаранокӣ хавфҳо ба нигоҳ доштани обрӯи мусбии парваришгоҳ, ҳамчун самти беҳатар ва ҷолиби сайёҳӣ, имкон медиҳад.

Хангоми рушди сайёҳии ҳудуди метавонанд хавфҳои зерин ба миён оянд:

- Хавфҳои табиӣ: заминларза, обҳезӣ, тармафарой, сӯхтор, тағйироти иқлим.
- Хавфҳои иҷтимоӣ: мочароҳо, ҷинояткорӣ, терроризм, шиддатнокӣ ҳолати иҷтимоӣ.
- Хавфҳои иқтисодӣ: ноустувории иқтисодӣ, таваррум, девалвасияи асъор.
- Хавфҳои экологӣ: ифлосшавии муҳити атроф, камшавии захираҳои табиӣ, вайроншавии экосистемаҳо.
- Хавфҳои амалиёт: мушкилоти идоракунӣ, вайроншавии таҷҳизот, хатогиҳои қормандон.
- Хавфҳои шӯҳратмандӣ: интишороти манфӣ дар ВАО, мочароҳои бо сайёҳон алоқаманд.

Барои пешгирии хавфҳои сайёҳии ҳудуди метавон ҷораҳои зеринро андешид [13].

- Коркарди нақшаҳои эътибор додан ба ҳолатҳои фавқулодда: таҳияи нақшаҳои муфассали фаъолият дар ҳолатҳои гуногуни вазъиятҳои фавқулодда (заминларза, сӯхтор, обҳезӣ ва ғ.).



- Системаи огоҳии саривақт: татбиқи системаҳои огоҳии саривақт оид ба фалокатҳои табиӣ ва дигар таҳдидҳо.
- Сугуртакунӣ: ба расмият даровардани масъулият, амвол ва саломатии сайёҳон.
- Омӯзонидани кормандон: гузаронидаани машқҳои мунтазами кормандон оид ба расонидани ёрии аввал, вобаста ба кӯчонидан ва дигар малакаҳои зарурӣ.
- Ҳамкорӣ бо мақомоти ҳукумати маҳаллӣ: ба роҳ мондани ҳамкориҳои зич бо мақомоти ҳукумати маҳаллӣ барои таъмини бехатарии сайёҳон.
- Мушоҳидаҳои экологӣ: мушоҳидаи мунтазами ҳолати муҳити атроф ва чорабиниҳо оид ба муҳофизати он [14].
- Маркетинги бехатарӣ: пешбарии иттилоот оид ба бехатарии сайёҳон дар ҳудуди парваришгоҳ.

Таҳлили хавфҳо ва чорабиниҳо оид ба пешгирии онҳо воситаи муҳими таъмини рушди бехатар ва устувори сайёҳӣ дар ҳудуди парваришгоҳи Зарафшон мебошанд. Муносибати мунтазами идоракунии хавфҳо ба кам гардонидани оқибатҳои манфӣ имкон медиҳад ва барои рушди соҳаи сайёҳӣ шароитҳои мусоид фароҳам меорад.

Коркарди хатсайрҳои нави аз ҷиҳати илмӣ асоснокшудаи экологӣ, ки объектҳои [11]. муҳими сайёҳиро фаро гирифтаанд, марҳилаи муҳими рушди сайёҳӣ экологӣ ва муҳофизати мероси табиӣ мебошанд. Ин гуна хатсайрҳо бояд на ҳамчун сайри ҷойҳои хушманзара, балки бо барномаҳои маърифатии ба баландбардории сатҳи маълумотнокии экологии сайёҳон равонашуда, муаррифӣ гарданд.

Сабабҳои зарурати коркарди хатсайрҳои нави экологӣ:

- Вусъат додани пешниҳдҳои сайёҳӣ: хатсайрҳои нав ба ҷалби микдори зиёди сайёҳон ва гуногун намудани навъҳои сайёҳӣ имкон медиҳанд.

- Муҳофизати рангорангии биологӣ: хатсайрҳои дуруст ташкилшуда ҷиҳати кам гардонидани таъсироти антропогенӣ ба экосистемаҳои осебпазир ёрӣ мерасонанд.
- Баланд бардоштани шуури экологӣ: хатсайрҳои экологӣ метавонанд воситаи маърифатнокии экологии сайёҳон гарданд.
- Бунёди ҷойҳои нави корӣ: рушди сайёҳӣ экологӣ ба бунёди ҷойҳои нави корӣ дар соҳаи сайёҳӣ ва меҳмоннавозӣ муосидат мекунад.
- Ҳифзи мероси маданӣ: ба хатсайрҳо ташриф овардани ҷойҳои ёдгориҳои таърихӣ ва маданӣ метавонанд дохил шаванд, ки он ба нигоҳдории мероси маданӣ мусоидат мекунад.

Коркарди хатсайрҳои экологӣ дар асоси принципҳои зерин амалӣ мегардад:

- Асоснокии илмӣ: хатсайрҳо бояд дар асоси таҳқиқотҳои илмӣ коркард шаванд ва хусусиятҳои экосистемаҳо ба ҳисоб гирифта шаванд.
- Бехатарии экологӣ: хатсайрҳо бояд дар ҷойҳои гузаронида шаванд [12], ки он ҷо таъсироти манфӣ ба табиат кам мешаванд.
- Компоненти таълимӣ: ба хатсайрҳо бояд унсурҳои таълими экологӣ, шарҳи флорау фауна ва таърихи минтақа, дохил шаванд.
- Дастрасӣ: хатсайрҳо бояд барои сайёҳони дорои омодагии варзишии гуногун, дастрас бошанд.
- Устуворӣ: хатсайрҳо бояд тарзе ба нақша гирифта шаванд, ки таъсироти манфиашон ба муҳити атроф кам расад.

Ба раванди коркарди хатсайрҳои экологӣ марҳилаҳои зерин дохил мешаванд:

1. Таҳлили захираҳои табиӣ ва маданӣ: омӯзиши флорау фауна, пайдоишоти геологӣ, ёдгориҳои таърихӣ ва маданӣ.

2. Муайян намудани нуктаҳои калидии хатсайр: интихоби аёдати объектҳои бештар завқовар ва дастрас.

3. Коркарди хатсайр: ба роҳ мондани хатсайр бо назардошти релефи маҳал, мавҷудияти пайроҳаҳо, манбаҳои об ва дигар омилҳо.

4. Муайян намудани инфрасохтор: муайян намудани зарурати бунёд ё беҳгардонии инфрасохтор (пулҳо, зинапоҳаҳо, тахтаҳои иттилоотӣ ва ғ.).

5. Коркарди барномаҳои таълимӣ: бунёди маводҳои иттилоотӣ, гузаронидаани экскурсияҳо.

6. Баҳодиҳии таъсирот ба муҳити атроф: баҳодиҳии таъсири манфии потенциали хатсайр ба табиат ва коркарди чораҳои камгардонии он.

Ҳамчун хатсайрҳои экологӣ метавон мисол овард:

- Пайроҳаҳои ботаникӣ: Хатсайрҳои аз миёни рустаниҳои гуногун гузаранда.
- Хатсайрҳои орнитологӣ: хатсайрҳо барои мушоҳидаи парандагон.
- Хатсайрҳои геологӣ: хатсайрҳои аз миёни пайдоишоти мароқовари геологӣ гузаранда.
- Хатсайрҳои таърихӣ-маданӣ: хатсайрҳое, ки ба онҳо ташриф овардан ба ҷойҳои ёдгориҳои таърихӣ ва маданӣ дохил мешаванд.
- Концепсияи рушди сайёҳии экологӣ дар панҷ принципҳои калидии зерин асос ёфтааст:

1. Дар ҳаргуна шароитҳо бояд аз осебрасонӣ ба муҳити атроф худдорӣ, қард, ё ки таъсири онро кам намуд.

2. Объекти асосии диққати сайёҳон табиат: дарёҳо, кӯҳҳо, шаршараҳо, ландшафтҳо, намояндагони флора, фауна ва дигар объектҳои табиат мебошанд.

3. Истифодаи оқилонаи захираҳои табиӣ.

4. Муносибати боэҳтиром ба анъанаҳои динӣ ва маданияти аҳолии маҳаллӣ.

5. Фаъолият дар доираи сайёҳии эколо-

гӣ бояд ба рушди иқтисодии минтақа бо овардани фоида, ки барои нигоҳдории объекти табиӣ ба ҳолати табиӣ он истифода мешавад, мусоидат кунад [1].

Барои дар амал ҷорӣ кардани ин принципҳо лозим аст: таъсиррасонии минималӣ ба муҳити табиат, ҳифзи экосистемаҳо, кам кардани пасмондаҳои ба фаъолияти сайёҳатҳо алоқаманд ва баланд бардоштани сатҳи дониш ва маърифатнокии экологии сайёҳон.

Ба қатори намудҳои афзалиятноки сайёҳии минтақавӣ барои парваришгоҳи Зарафшон, ки рушд ва густариши онҳо дорои иқтидори баланд барои афзоиши даромад мебошанд, самтҳои зеринро метавон дохил намудан бо мақсад мувофиқ ҳаст:

1. Экосайёҳӣ-боздид аз парваришгоҳи табиӣ, боғҳои миллий, экосистемаҳои кӯҳӣ ва обӣ бо мақсади мушоҳидаи гуногуншаклии ҳаёт ва кам кардани таъсири инсон ба муҳити зист [3];

2. Сайёҳии таърихӣ-фарҳангӣ - боздид аз ёдгориҳои бостоншиносӣ, шаҳрҳои таърихӣ, қалъаҳо ва ҷойҳое, ки ба мероси фарҳангии мардуми тоҷик алоқаманданд;

3. Сайёҳии зиёратӣ (динӣ)-сафарҳо ба маконҳои муқаддас ва дорои аҳамияти руҳонӣ, ҳам дар дохили кишвар ва ҳам дар сатҳи фаромарзӣ;

4. Агросайёҳӣ (сайёҳии кишоварзӣ)-шиносӣ бо тарзи ҳаёти анъанавии деҳот, иштирок дар корҳои кишоварзӣ, чашидани таомҳои миллий;

5. Сайёҳии мочароҷӯёна-намудҳои фаъолони истироҳат, аз ҷумла сайругашти кӯҳӣ (треккинг), кӯҳнавардӣ, шиноравӣ дар рӯдхонаҳо, хатсайрҳои велосипедонӣ;

6. Сайёҳии табобатӣ ва солимгардонӣ-боздид аз чашмаҳои минералӣ, санаторияҳо ва истироҳатгоҳҳои иқлимӣ бо мақсади пешгирӣ ва муолиҷаи бемориҳо;

7. Сайёҳии этнографӣ-шиносӣ бо

урфу одат ва рӯзгори чомеаҳои маҳаллӣ, иштирок дар маҳфилҳои хунаремандӣ, идҳои миллий ва маросимҳо;

8. Сайёҳии фестивалӣ-ширкати дар чорабиниҳои фарҳангии минтақаӣ, фестивалҳо, ярмаркаҳо, намоишҳои мусиқӣ ва рақсӣ;

9. Сайёҳии гастронómӣ-чашидани таомҳои миллии минтақаҳои ҷанубӣ, иштирок дар маҳфилҳои кулинарӣ ва бозид аз хоҷагиҳои деҳқонӣ;

10. Фотосайёҳӣ ва мушоҳидаи табиат-сафарҳои махсус барои дӯстдорони аксбардории табиати ваҳшӣ, манзараҳо ва падидаҳои астрономӣ [3].

Маҷмӯи масъалаҳои баррасӣ гардидаи таҳқиқотҳои захираҳои сайёҳӣ-рекреатсионии парваришҳои давлатии Зарафшон – ҳамчун манбаи иқтидории инкишофи экосайёҳӣ ва баҳодиҳии захираҳои табиии сайёҳӣ, барои коркарди стратегияи калонмиқёси рушди экосайёҳии ҳудуди мазкур ва ноҳияҳои ҳамҷавори он, ҳамчун асос хизмат намудааст. Ҷорикунии босамари стратегияи пешниҳодшуда ба нигоҳ доштани иқтидори захиравии ҳудуд ва ҳамчунин, бавҷуд овардани бозори рақобатпазири хизматрасониҳои сайёҳӣ ва ташаккул додани бренди пурзӯри сайёҳӣ, муосидат мекунад. Ин дар навбати худ мавқеъгирии минтақаро дар бозорҳои байналмилалӣ сайёҳӣ таъмин намуда, ба беҳгардонии имиджи он – ҳамчун ҳудуди барои рушди экосайёҳӣ мусоид, боис мегардад.

### Адабиёт

1. Абдуганиев Ш. К., Мирзоалиев А.А. Факторы и формирование развития управления рынка туристических услуг в Республике Таджикистан // Вестник ТНУ, сер. социально-эконом. и обществ. наук, 2015. - № 2/6 (175). - С.154-157.
2. Курбонов Н.Б., Фрумин Г.Т. Формирование состава водных ресурсов бассейна р. Зерафшан. Влияние изменения климата на условия формирования и химического состава водных ресурсов БРЗ. Монография. - Брюссель: LAP Lambert Academic Publishing, 2021. - 145 с.
3. Гадов Ш. Имкониятҳо ва самтҳои афзалиятноки рушди сайёҳии таърихӣ ва экосайёҳӣ дар

худудҳои муҳофизатшавандаи Тоҷикистони Ҷанубӣ // Пайёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои иҷтимоӣ - иқтисодӣ ва ҷамъиятӣ, 2025. - №8. - С.214-221.

4. Гадов Ш. Возможности организации экологического туризма на территории заповедника «Дашти Джум» // Вестник ТНУ, 2017. - С.123-128.
5. Гадов Ш. Иқтидорҳои сайёҳии худудҳои махсус ҳифзшавандаи минтақаи Кӯлоб ҳамчун объекти туризми экологӣ // Пайёми Донишгоҳи давлатии тичорати Тоҷикистон, 2025. - №1 (56). - С.93-99.
6. Гадов Ш.Д. Зарфиятҳои геоэкологии худудҳои махсус муҳофизатшавандаи Ҷумҳурии Тоҷикистон истифодаи онҳо дар туризми экологӣ. «Дашти Ҷум» // Пайёми Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С.Айнӣ, 2025. - №1 (25). - С.33-41.
7. Ибрагимов Э. Х. Эколого-географические основы развития сети охраняемых природных территорий Северного Таджикистана // Автореф. дисс. на соис. уч. степ. к.г.н. - М., 1997. - 22 с.
8. Иброгимова Р.А. Роль туристско-рекреационного потенциала в социально-экономическом развитии региона (на примере Кулябской зоны Республики Таджикистан) // Автореф. дисс. на соис. уч. степ. к.г.н. - Душанбе, 2023. - 53 с.
9. Курбонов Ш.М., Устьян И.П., Муратов Р., Сатторов Р. Особо охраняемые природные территории Республики Таджикистан. - Душанбе, 2009. - 154 с.
10. Колбовский Е.Ю. Экологический туризм и экология туризма. 2006. М.: Академия. - 253 с.
11. Макичан, Г.Т. Экотуризм как возможный фактор воздействия на биоразнообразие особо охраняемых природных территорий Армении // Автореф. дисс. на соис. уч. степ. к.г.н. - Ереван, 2016. - 22 с.
12. Мамадризонов А.А. Экотуризм дар минтақаҳои кӯхистони Тоҷикистон. - Душанбе, 2013. - 594 с.
13. Рахимов А.Б., Мамадризонов А.А., Кариева А.Ф. Повышение эффективности использования ресурсного потенциала Биосферной территории «Ромит» в целях развития туризма // Илм ва фановарӣ. Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, 2023. - №1. - С.126-131.
14. Стратегия развития туризма в Республике Таджикистан на период до 2030 года. Постановление Правительство Республики Таджикистан от 1-го августа 2018г., №372. Электронный источник: Комитет по развитию туризма при Правительстве Республики Таджикистан: [Электронный ресурс]. URL: www.ctd.tj.

15. Чабаров Р.С. Истифодаи самараноки захи-  
раҳои сайёҳии парваришгоҳи Чилдухтарони  
ноҳияи Мӯъминобод / Р.Чабаров // Пайёми

Донишгоҳи давлатии Хоруғ ба номи М.На-  
заршоев, 2025. - №2 (02). - С.221-225.

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАПОВЕДНИКА ЗАРАФШАН: ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СФЕРЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА

Муллоализода М.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Кулобский государственный университет имени А. Рудаки

\*Автор-корреспондент: E-mail: ibrogimova2026@bk.ru

**Аннотация.** В статье представлены анализ результатов исследования по развитию экологического туризма на территории государственного заказника Зеравшан. На основании анализа существующих ситуация предложена модель развития экологического туризма, основная задачи которой заключается в достижение согласованности в сфере взаимодействия человека с природными и социальными факторами, повышение уровня природоохранного образования населения, а также соблюдение установленных требова-ний эколого-правовых норм устойчивого природопользования. Её базовые принципы могут быть эффек-тивными для развития устойчивого туристско-рекреационной деятельности, формирование современной инфраструктуры, формирование современные туристические маршруты и туристического продукта, системы его реализации, а также формирование концепции долгосрочной программы развития эколо-гического туризма для данной территории.

**Ключевые слова:** экологический туризм, заказники, заповедные территории, особо охраняемые природ-ные территории, антропогенное влияние, инфраструктура, туристическое природопользование.

## GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE ZARAFSHAN STATE NATURE RESERVE: PROSPECTS FOR USE IN THE FIELD OF ECOTOURISM

Mullolizoda M.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Kulob State University named after A. Rudaki,

\*Corresponding author. E-mail: ibrogimova2026@bk.ru

**Abstract.** The article presents an analysis of the results of a study on the development of ecological tourism in the territory of the Zerafshan state reserve. Based on an analysis of the existing situation, a model for the development of ecotourism has been proposed, the main objective of which is to achieve consistency in the sphere of human interaction with natural and social factors, increase the level of environmental education of the population, as well as compliance with the established requirements of environmental and legal standards for sustainable environmental management. Its basic principles can be effective for the development of sustainable tourism and recreational activities, the formation of modern infrastructure, the formation of modern tourist routes and tourism products, systems for its implementation, as well as the formation of the concept of a long-term program for the development of eco-tourism for a given territory.

**Key words:** ecological tourism, nature reserves, protected areas, specially protected natural areas, anthropogenic influence, infrastructure, tourism environmental management.

**Маълумот дар бораи муаллиф:** Муллоализода Мақсудҷон – докторанти (PhD) Донишгоҳи давлатии Кулоб ба номи А. Рӯдакӣ, E-mail: ibrogimova2026@bk.ru, Тел.: 98 534 36 36.

**Сведение об авторе:** Муллоализода Мақсудҷон – докторант (PhD) Кулябского государственного университета имени А. Рудаки, E-mail: ibrogimova2026@bk.ru, Тел.: 98 534 36 36.

**Information about the author:** Mulloalizoda Maksudjon – PhD student at A. Rudaki Kulyab State University, E-mail: ibrogimova2026@bk.ru, Tel.: 98 534 36 36.



**КОИДАҲО БАРОИ МУАЛЛИФОНИ**  
**Маҷаллаи илмӣ «Захираҳои об, энергетика ва экология»-и**  
**Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи**  
**Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон**

Мақолаҳои илмӣ, ки барои нашр ба маҷалла пешниҳод мегарданд, бояд ба талаботи зерин ҷавобгӯ бошанд: а) мақолаи илмӣ бояд бо назардошти талаботи муқаррарнамудаи маҷалла омода гардида бошад; б) мақола бояд натиҷаи тадқиқоти илмӣ бошад; в) мавзӯи мақола бояд ба яке аз самтҳои илмӣ маҷалла мувофиқат намояд.

Мақолаҳое, ки дар матни онҳо маводи дигар муаллифон бе овардани иқтибос истифода шудаанд, ба баррасии марҳилаҳои навбатӣ пешниҳод намегарданд ва ин гуна мақолаҳо дар маҷалла ба ҷоп роҳ дода намешаванд.

Талабот нисбат ба таҳияи мақолаҳои илмӣ:

Матни мақола бояд дар формати Microsoft Word омода гардида, бо ҳуруфи Times New Roman барои матнҳои русӣ ва англисӣ ва бо ҳуруфи Times New Roman Tj барои матни тоҷикӣ таҳия гардида, дар матн ҳаҷми ҳарфҳо 14, ҳошияҳо 2,5 см ва фосилаи байни сатрҳо бояд 1,5 мм бошад.

Формулаҳо, аломатҳо ва нишонаҳои ҳарфҳои бузургҳо бояд дар муҳаррири формулаи Microsoft Equation ва ё Math Type (ҳуруфи 12) ҳуруфчинӣ карда шаванд. Танҳо он формулаҳое, ки ба он истинод оварда шудаанд, рақамгузорӣ карда мешаванд.

Нақшаҳо, схемаҳо, диаграммаҳо ва расмҳо бояд рақамгузорӣ карда шаванд ва инчунин, онҳо бояд номи шарҳдиҳанда дошта бошанд.

Ҳаҷми мақола бо формати A4 бо назардошти рӯйхати адабиёти истифодашуда ва аннотатсияҳо аз 10 то 15 саҳифаро бояд дар бар гирад.

Сохтори мақола бояд бо тартиби зерин таҳия гардад:

1. Индекси УДК барои мақола;
2. Номи мақола (I - Моҳияти тадқиқотро кӯтоҳ ва дақиқ инъикос мекунад; II - Баъзан калимаҳои калидиро дар бар мегирад);
3. Насаб ва дар шакли ихтисор ном ва номи падар;
4. Номи муассисае, ки дар он муаллиф (он) қору фаъолият менамояд (янд), нишони муассиса, шаҳр, кишвар;
5. Почтаи электронии муаллифи масъул;
6. Шарҳи мухтасар (I - Хулосаи мухтасари мазмуни мақола (100–250 калима); II - Ҳадаф, усулҳо, натиҷаҳои асосӣ ва хулосаҳои нишон медиҳад; III - Бо услуби кӯтоҳ ва иттилоотӣ навишта мешавад);
7. Калидвожаҳо (I - 4–8 калима ё иборае, ки муҳтавои асосии мақоларо инъикос мекунад; II - Барои ҷустуҷӯ дар пойгоҳҳои додаҳо истифода мешаванд);
8. Муқаддима (I - Аҳамият ва зарурати мавзӯро асоснок мекунад; II - Масъалаи илмиро баён мекунад; III - Шарҳи адабиёт (таҳқиқоти қаблӣ); IV - Ҳадаф ва вазифаҳои тадқиқот; V - Гипотеза (агар бошад); V - Шарҳи кӯтоҳи усулҳои истифодашуда;
9. Мавод ва усулҳо (I - Тавсифи муфассали усулҳо, таҷҳизот ва равишҳои истифодашуда; II - Тадқиқоти таҷрибавӣ ё назариявиро шарҳ медиҳад; III - Бояд имкони такрор кардани тадқиқотро фароҳам оварад);
10. Натиҷаҳо (I - Пешниҳоди маълумоти бадастомада; II - Аксаран бо ҷадвалҳо, графикҳо ва расмҳо ҳамроҳӣ мешавад; III - Тавсиф мешавад, бе тафсири амик);
11. Мубоҳиса (I - Тафсири натиҷаҳо; II - Муқоиса бо таҳқиқоти дигар; III - Шарҳи эҳтимолии сабабҳои натиҷаҳо; IV - Маҳдудиятҳои тадқиқот);
12. Хулоса (I - Хулосаи кӯтоҳ аз натиҷаҳои асосӣ; II - Чӣ муайян ё исбот карда шуд; III - Пешниҳодҳо барои тадқиқоти оянда);
13. Миннатдорӣ (I – Ёдоварии номҳои ташкилотҳо, грантҳо ё шахсоне, ки ёрӣ расонданд);
14. Адабиёт (I - на камтар аз 10 номгӯй ва на бештар аз 20 номгӯйи адабиёти илмӣ; II - Ҳама манобеъе, ки муаллиф истинод кардааст; III - Мувофиқи стандарти муайян навишта мешавад (APA, MLA, ГОСТ ва ғ.);
15. Номи мақола, аннотатсия ва калидвожаҳо (агар мақола бо забони тоҷикӣ бошад, аннотатсия ва калидвожаҳо бо забонҳои русӣ ва англисӣ; агар мақола бо забони русӣ бошад, аннотатсия ва калидвожаҳо бо забонҳои тоҷикӣ ва англисӣ; агар мақола бо забони англисӣ бошад, аннотатсия ва калидвожаҳо бо забонҳои тоҷикӣ ва русӣ таҳия гарданд);
16. Дар охири мақола бо ду забон (русӣ ва англисӣ) маълумот дар бораи муаллиф (он) бо тартиби зерин нишон дода шавад: насаб, ном ва номи падар (пурра), дараҷаи илмӣ ва унвони илмӣ (агар бошанд), номи муассисае, ки дар он муаллиф қору фаъолият менамояд, вазифаи ишғолнамуда, телефон, e-mail.

Ҳангоми иқтибосоварӣ адабиёти истифодашуда ва саҳифаи мушаххаси он бояд дар қавси ҷаҳоркунча [] нишон дода шавад. Намуна: [7], яъне адабиёти №7.

Эътимоднокии маводҳо ба зиммаи муаллиф (муаллифон) гузошта мешавад.

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ**  
**Научного журнала «Водные ресурсы, энергетика и экология»**  
**Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии**  
**Национальной академии наук Таджикистана**

Научные статьи, представленные для публикации в журнале, должны соответствовать следующим требованиям: а) научная статья должна быть подготовлена в соответствии с требованиями, установленными журналом; б) статья должна быть результатом научных исследований; в) тема статьи должна соответствовать одному из научных направлений журнала.

Статьи, в тексте которых использованы материалы других авторов без цитирования, не будут переданы на дальнейшее рассмотрение и такие статьи не будут допущены к публикации в журнале.

Требования к оформлению научных статей:

Текст статьи должен быть подготовлен в формате Microsoft Word, шрифтом Times New Roman для русского и английского текста и Times New Roman Tj для таджикского текста, кегль 14, поля 2,5 см со всех сторон, интервал 1,5 мм.

Формулы, символы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation или Math Type (шрифт 12). Нумеруются лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

Таблицы, схемы, диаграммы и рисунки нужно сгруппировать и пронумеровать, а также, они должны иметь название.

Объем статьи (включая аннотацию и список литературы) должен быть в пределах от 10 до 15 страниц в формате А4.

Статья должна иметь следующую структуру:

1. Индекс УДК на статью;
2. Название статьи (I - Кратко и точно отражает суть исследования; II - Иногда включает ключевые термины);
3. Фамилия и инициалы автора;
4. Название организации, в которой работает автор (ы) статьи, почтовый адрес организации, город, страна;
5. Электронная почта автора-корреспондента;
6. Аннотация (I - Краткое резюме содержания статьи (100–250 слов); II - Указывается цель, методы, основные результаты и выводы; III - Пишется в сжатом и информативном стиле);
7. Ключевые слова (I - 4–8 слов или фраз, отражающих основное содержание статьи);
8. Введение (I - Обоснование актуальности темы; II - Постановка научной проблемы; III - Обзор литературы (предыдущие исследования); IV - Цель и задачи исследования; V - Гипотеза (если применимо); VI - Методы исследования (иногда кратко);
9. Материалы и методы (I - Подробное описание используемых методов, приборов, подходов; II - Описывается экспериментальный или теоретический подход; III - Обеспечивает возможность воспроизведения исследования другими учёными;
10. Результаты (I - Представление полученных данных; II - Часто сопровождаются таблицами, графиками, рисунками; III - Описание, но без глубокой интерпретации);
11. Обсуждение (I - Интерпретация результатов; II - Сравнение с другими исследованиями; III - Объяснение возможных причин полученных эффектов; IV - Ограничения исследования;
12. Выводы (I - Краткое подведение итогов; II - Что удалось установить, доказать; III - Возможные перспективы дальнейших исследований);
13. Благодарности (I - Упоминание организаций, грантов, лиц, оказавших помощь);
14. Литература (I - не менее 10 и не более 25 наименований научной литературы; II - Все источники, на которые ссылается автор; III - Оформляется по определённому стилю (APA, MLA, ГОСТ и др.);
15. Название статьи, аннотация и ключевые слова на трех языках: таджикском, русском и английском;
16. В конце статьи на трех языках (таджикском, русском и английском) сведения об авторе (ах) в следующем порядке: ФИО автора (ов) полностью, ученая степень и ученое звание (если имеются), название организации, в которой работает автор (ы), должность, телефон, e-mail.

При цитировании конкретного материала ссылки указываются в квадратных скобках [ ]. Образец: [7], т.е., литература.

За достоверность материалов ответственность несет автор (ы).

**RULES FOR THE AUTHORS**  
**of the Scientific Journal “Water Resources, Energy and Ecology”**  
**of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology**  
**of the National Academy of Sciences of Tajikistan**

Scientific articles submitted for publication in the journal must meet the following requirements: a) the scientific article must be prepared in accordance with the requirements established by the journal; b) the article must be the result of scientific research; c) the topic of the article must correspond to one of the scientific directions of the journal.

Articles in the text of which materials of other authors are used without citation will not be submitted for further consideration and such articles will not be allowed for publication in the journal.

Requirements for the design of the scientific articles:

The text of the article should be prepared in Microsoft Word format, in Times New Roman font for Russian and English text and Times New Roman Tj for Tajik text, size – 14, fields – 2.5 cm from all directions, interval – 1.5.

Formulas, symbols and letter designations of quantities must be typed in the formula editor Microsoft Equation or Math Type (font 12). Only those formulas to which there are references are numbered.

Tables, diagrams, diagrams and figures must be grouped and numbered, and also, they must have a name.

The volume of the article (including annotation and bibliography) should be in the range of 10 to 15 pages of A4 format.

The article should have the following structure:

1. UDC index per article;
2. Title (I - Briefly and accurately reflects the essence of the research; II - Sometimes includes key terms);
3. Surname and initials of the author;
4. The name of the organization in which the author (s) of the article work, the postal address of the organization, the city, and the country;
5. Email of the author correspondent;
6. Abstract (I - A brief summary of the article's content (100–250 words); II - States the purpose, methods, main results, and conclusions; III - Written in a concise and informative style);
7. Keywords (I - 4–8 words or phrases that reflect the main content of the article; II - Help in indexing and searching in databases);
8. Introduction (I - Justifies the relevance of the topic; II - States the scientific problem; III - Literature review (previous research); IV - Research aim and objectives; V - Hypothesis (if applicable); VI - Brief mention of methods);
9. Materials and Methods (I - Detailed description of the methods, instruments, and approaches used; II - Describes experimental or theoretical approaches; III - Should provide enough detail for replication by other researchers);
10. Results (I - Presentation of the obtained data; II - Often accompanied by tables, graphs, or figures; III - Descriptive, without deep interpretation);
11. Discussion (I - Interpretation of the results; II - Comparison with other studies; III - Explanation of possible causes of observed effects; IV - Study limitations);
12. Conclusion (I - Summary of key findings; II - What was established or proven; III - Prospects for future research);
13. Acknowledgements (optional) (I - Mentions of organizations, grants, or individuals who provided assistance);
14. References (I - No less than 10 and no more than 25 titles of scientific literature; II - All sources cited by the author; III - Formatted according to a specific citation style (APA, MLA, Chicago, GOST, etc.);
15. Title of the article, abstract and keywords (if the article is in Tajik, the abstract and keywords are drawn up in Russian and English; if the article is in Russian, the abstract and keywords are made out in Tajik and English; if the article is in English, abstract and keywords are drawn up in Tajik and Russian);
16. At the end of the article, in two languages (Russian and English), information about the author (s) in the following order: full name of the author (s), academic degree and academic title (if any), name of the organization in which the author (s) works, position, phone, e-mail.

When citing specific material, links are indicated in square brackets []. Sample: [7], that is, the literature No.7.

The author (s) are responsible for the accuracy of the information.