

ISSN: 2789-0953

2025 / №5 (3)



ЗАХИРАҶОИ ОБ, ЭНЕРГЕТИКА ВА ЭКОЛОГИЯ

Институти масъалаҳои об,
гидроэнергетика ва экологияи
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон



www.majalla.imogetj

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

№ 3

ДУШАНБЕ

Сармухаррир – доктори илмҳои техники

Гулаҳмадзода А.А.

Муовини сармухаррир – номзади илмҳои

техники, 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; Қодиروف 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; Давлатшоев С.К. – кандидат технических наук, доцент; Кариева Ф.А. – кандидат биологических наук; Қодиروف 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 решению Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан от 5 июля 2024 года, №239/м Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» внесен в Список рецензируемых научных журналов (публикаций) 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.

МУНДАРИЧА ЗАХИРАҲОИ ОБ

Пулотов Я.Э., Муминов С. ТАЪСИРИ ОБЁРӢ БА ХУСУСИЯТҲОИ ОБӢ-ФИЗИКИИ ЗАМИНҲОИ КӢҲНАИ ОБӢРИШАВАНДА ДАР ШАРОИТИ МИНТАҚАИ ДАНҒАРАИ ТОҶИКИСТОН	9
Ниезов Ч.Б., Одиназода Т.Ш., Мирзохонова С.О., Саидзода С.М., Эшонқулова З.У. АРЗИШИ ХАВФИ СЕЛ ДАР ҲАВЗАИ СОӢ ТЕБОЛАЙ.....	19
Кодиров А.С. ГИДРОЛОГИЯИ ИЗОТОПӢ ДАР ТОҶИКИСТОН ВА НАҚШИ МАГАТӢ ДАР РУШДИ ОН	29
Кабутов Х.Қ. ҲОЛАТИ ИМРӢЗАИ ПИРЯХҲОИ ХУРД ДАР ҲАВЗАИ КӢЛИ ҚАРОКӢЛ: ТАДҚИҚОТ ВА АРЗӢБӢ	39
Ҳақдод М.М., Маҳмадалиев А.Г., Ҳоҷаева Н., Ҳақдодов А.М. АҲАМИЯТИ ИҚТИСОДИӢ ИҚТИМОИИ ПИРЯХҲО БАРОИ МИНТАҚАҲОИ КӢҲИСТОН	45
Толибова У.О., Холназарова З.Д., Амирзода О.Х. КОРКАРДИ АМСИЛАИ БИОХИМИЯВИИ РАВАНДИ ХУДТОЗАШАВИИ ОБ ДАР МИСОЛИ ДАРӢИ ВАРЗОБ	53
Мирзоев А.А. АРЗӢБИИ ХУСУСИЯТҲОИ ХОСИ КАНАЛҲОИ ОБӢ ВА САҲМИ ОНҲО ДАР ИДОРАКУНИИ ЗАХИРАҲОИ ОБӢ	68
ЭНЕРГЕТИКА	
Раҳмонов Ш.С., Ҳасанзода Б. М., Гулаҳмадзода А.А., Давлатшоев С.Қ., Азизов З.Б. ТАҲКИМИ ИҚТИДОРИ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИИ ТОҶИКИСТОН: ЛОИҲАИ НБО-И АЙНӢ ҲАМЧУН УНСУРИ ЭНЕРГЕТИКАИ УСТУВОР	75
Раҳматов Ч.Ш., Қайсова Д.Ф., Саид Мохаммадзаде Бина, Каримов Б.Х. ИСТИФОДАИ НАСОСҲОИ ГАРМИДИҲАНДАИ ГЕОТЕРМАЛӢ ДАР ТОҶИКИСТОН	82
Расулов С., Раҳматов Ч.Ш. ХУСУСИЯТҲОИ ТЕХНИКИИ ПЛАТФОРМАҲО ВА СИСТЕМАҲОИ НАСБКУНИИ СИСТЕМАҲОИ ФОТОВОЛТАИКИИ ШИНОКУНАНДА (СФШ) ДАР ОБАНБОРҲОИ ТОҶИКИСТОН	91
Султонзода Ш.М., Рачабов М.Ш. ШАРҲИ УСУЛҲОИ ОПТИМИЗАТСИЯ ДАР СОҲАИ ЭНЕРГЕТИКА	99
Халиков Х.Х., Петров Г.Н. НБО-И ХУРД БАРОИ ХОНАИ ИСТИҚОМАТИИ ИНТИҲОДИЯ БО ҚУВВАИ ЭЛЕКТР АЗ МАНБАИ БАРҚАРОР-ШАВАНДАИ ЭНЕРГИЯ	108
Абдусамиев Ф.Т., Баҳриев С.Х., Муссе Смаила Рауфу, Раҳмонов Ш. С. РЕАКТОРИ БИОҒАЗИ АНАЭРОБӢ - БИОТУАЛЕТ	113
Оев О.Т., Ядгоров Ё.Х., Каримов О.А., Облокулов Э.Р. МОНИТОРИНГИ ПУНКТҲО ВА НИШОНАҲОИ ГЕОДЕЗӢ БА ВОСИТАИ ТАХЕОМЕТРИ ЭЛЕКТРОНӢ	118
Мирзоева Б.М. ТАҲЛИЛИ ХУСУСИЯТҲОИ ГЕОЛОГИИ МАССИВИ МИНТАҚАИ АТИПИКИИ СОҲИЛИ РОСТИ РОҒУН	60

ЭКОЛОГИЯ

Абдуллозода С.Ф., Рахматзода М.Н., Исмоилзода К.А. ТАҲҚИҚИ Тh И U ДАР ТАРКИБИ НАМУНАҲОИ ХОКИ ҚИСМИ ҶАНУБӢ-ШАРҚИИ ВИЛОЯТИ СУҒД	125
Махмадалиев А.Ғ., Ҳақдод М.М. ТАЪСИРИ ТЕХНОГЕНИИ ИСТИХРОҶИ АНГИШТ ВА ТАЪСИРИ ОН БА МУҲИТИ ЗИСТИ ВОДИИ ЗАРАФШОН	131
Саидзода В.Я., Мирсаидзода И.У., Фазылов А.Р. ПРИНЦИПҲОИ МУҲАНДИСИИ СИСТЕМАВӢ ҲАНГОМИ ТАРҲРЕЗИИ БАРҚАРОРСОЗИИ АНБОРИ УРАН	139
Рауфӣ К.А. ТАҲЛИЛИ УСУЛИ ЭКОЛОГӢ ВА ИҚТИСОДИИ АРЗОДИДАНИ САМАРАИ КОРКАРДИ МАҲСУЛОТ	149
Хочаева Н.Х., Қориева Ф.А., Абдуллаева П.Н. ДАР БОРАИ РУШДИ ЭКОТУРИЗМ ДАР ТОҶИКИСТОН	157
Ҳочизода С.Қ. КИНЕТИКАИ СОРБСИЯИ УРАН АЗ ОБИ ШАХТАВИИ КОНИ КИИК-ТАЛ БО СОРБЕНТҲОИ МУХТАЛИФ	162
Оев О.Т., Ядгоров Ё.Х., Маҳмудов М.Ю. БУНӢДИ ШАБАКАҲОИ ТАКЯГОҲИИ НАҚШАВӢ БО ИСТИФОДАИ ТАҶҲИЗОТҲОИ GNSS	168

СОДЕРЖАНИЕ

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Пулатов Я.Э., Муминов С. ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ НА ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ДАНГАРИНСКОГО МАССИВА ТАДЖИКИСТАНА	9
Ниязов Дж.Б., Одиназода Т.Ш., Мирзохонова С.О., Саидзода С.М., Эшанкулова З.У. ОЦЕНКА СЕЛЕВОЙ ОПАСНОСТИ БАССЕЙНА САЯ ТЕБОЛАЙ	19
Кодиров А.С. ИЗОТОПНАЯ ГИДРОЛОГИЯ В ТАДЖИКИСТАНЕ И РОЛЬ МАГАТЭ В ЕЁ РАЗВИТИИ	29
Кабутов Х.К. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАЛЫХ ЛЕДНИКОВ БАССЕЙНА ОЗЕРА КАРАКУЛЬ: ИССЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКА	39
Хакдодов А.М., Махмадалиев А.Г., Ходжаева Н.Х., Хакдод М.М. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И СОЦИАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЛЕДНИКОВ ДЛЯ ГОРНЫХ РЕГИОНОВ	45
Толибова У.О., Холназарова З.Д., Амирзода О.Х. РАЗРАБОТКА БИОХИМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА САМООЧИЩЕНИЯ ВОДЫ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ВАРЗОБ	53
Мирзоева Б.М. АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОСОБЕННОСТИ ВМЕЩАЮЩЕГО МАССИВА РОГУНСКОЙ ПРАВОБЕРЕЖНОЙ АТИПИЧНОЙ ЗОНЫ	60
Мирзоев А.А. ОСОБЕННОСТИ ВОДНЫХ КАНАЛОВ И ИХ ВКЛАД В УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ	68

ЭНЕРГЕТИКА

Рахмонов Ш. С., Хасанзода Б.М., Гулахмадзода А.А., Давлатшоев С.К., Азизов З.Б. РАЗВИТИЕ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТАДЖИКИСТАНА: ПРОЕКТ ГЭС АЙНИ КАК ЭЛЕМЕНТ УСТОЙЧИВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	75
Рахматов Дж.Ш., Кайсова Д.Ф., Саид Мохаммадзаде Бина, Каримов Б.Х. ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В УСЛОВИЯХ ТАДЖИКИСТАНА. ВВОДНАЯ ЧАСТЬ	82
Расулов С., Рахматов Дж.Ш. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПЛАТФОРМ И СИСТЕМ КРЕПЛЕНИЯ ДЛЯ ПЛАВАЮЩИХ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ СИСТЕМ (ПФС) В ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ ТАДЖИКИСТАНА	91
Султонзода Ш.М., Раджабов М.Ш. ОБЗОР МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ	99
Халиков Х.Х., Петров Г.Н. МИНИ ГАЭС ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА, СНАБЖАЕМОГО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ ОТ ВИЭ	108
Абдусамиев Ф.Т., Бахриев С.Х., Муссе Смаила Рауфу, Рахмонов Ш. С. АНАЭРОБНЫЙ БИОГАЗОВЫЙ РЕАКТОР- БИОТУАЛЕТ	113
Оев О.Т., Ядгоров Ё.Х., Каримов О.А., Облокулов Э.Р. МОНИТОРИНГ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПУНКТОВ И ЗНАКОВ ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ	118

ЭКОЛОГИЯ

Абдуллозода С. Ф., Рахматзода М. Н., Исмоилзода К.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЕ Th И U В ПРОБАХ ПОЧВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СОГДИЙСКОЙ ОБЛАСТИ	125
Махмадалиев А.Г., Хакдод М.М. ТЕХНОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В ЗЕРАВШАНСКОЙ ДОЛИНЕ	131
Саидзода В.Я., Мирсаидзода И.У., Фазылов А. Р. ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ УРАНОВЫХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ	139
Рауфи К.А. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЁРДЫХ ОТХОДОВ	149
Ходжаева Н.Х., Кариева Ф.А., Абдуллоева П.Н. РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА И ЕГО НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ В ТАДЖИКИСТАНЕ	157
Ходжизода С.К. КИНЕТИКА СОРБЦИИ УРАНА ИЗ ШАХТНОЙ ВОДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КИИК-ТАЛА С РАЗЛИЧНЫМИ ОРБЕНТАМИ	162
Оев О.Т., Ядгоров Ё.Х., Махмудов М.Ю. СОЗДАНИЕ ПЛАНОВОЙ ГЕОДЕ- ЗИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ GNSS ОБОРУДОВАНИЯ	168

TABLE OF CONTENTS

WATER RESOURCES

Pulatov Ya.E., Muminov S. IMPACT OF LONG-TERM IRRIGATION ON THE HYDROPHYSICAL PROPERTIES OF OLD-IRRIGATED SOILS IN DANGARA MASSIF OF TAJIKISTAN	9
Niyazov J.B., Odinzoda T.Sh., Mirzokhonova S.O., Saidzoda S.M., Eshankulova Z.U. ASSESSMENT OF MUDFLOW HAZARD OF THE TEBOLAI SAYA BASIN	19
Kodirov A.S. ISOTOPE HYDROLOGY IN TAJIKISTAN AND THE ROLE OF THE IAEA IN ITS DEVELOPMENT	29
Kabutov KH.K. THE CURRENT STATE OF SMALL GLACIERS IN THE KARAKUL LAKE BASIN: RESEARCH AND ASSESSMENT	39
Haqodod M.M., Makhmadaliev A.G., Khodjaeva N.Kh., Haqododov A.M. ECONOMIC AND SOCIAL SIGNIFICANCE OF GLACIERS FOR MOUNTAIN REGIONS	45
Tolibova U.O., Kholnazarova Z.D., Amirzoda O.Kh. DEVELOPMENT OF A BIOCHEMICAL MODEL OF THE WATER SELF-PURIFICATION PROCESS: A CASE STUDY OF THE VARZOB RIVER	53
Mirzoeva B.M. ANALYSIS OF THE GEOLOGICAL FEATURE OF THE HOST MASSIF OF THE ROGUN RIGHT-BANK ATYPICAL ZONE	60
Mirzoev A.A. FEATURES OF WATER CHANNELS AND THEIR CONTRIBUTION TO WATER RESOURCES MANAGEMENT	68

ENERGY

Rakhmonov Sh.S., Hasanzoda B.M., Gulahmadzoda A.A., Davlatshoev S.K., Azizov Z.B. STRENGTHENING HYDROPOWER POTENTIAL OF TAJIKISTAN: THE AYNI HPP PROJECT AS AN ELEMENT OF SUSTAINABLE ENERGY	75
Rahmatov J.Sh., Qaisova D.F., Said Mohammadzadeh Bina, Karimov B.Kh. APPLICATION OF GEOTHERMAL HEAT PUMPS IN TAJIKISTAN CONDITIONS. INTRODUCTORY SECTION	82
Rasulov S., Rahmatov J.Sh. FEATURES OF DESIGNING PLATFORMS AND ANCHORING SYSTEMS FOR FLOATING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS (FPS) IN ARTIFICIAL RESERVOIRS OF TAJIKISTAN	91
Sultonzoda Sh.M., Rajabov M.Sh. A REVIEW OF OPTIMIZATION METHODS IN ENERGY SYSTEMS	99
Khalikov K.K., Petrov G.N. MINI HYDROPOWER STATION FOR AN INDIVIDUAL RESIDENTIAL HOUSE SUPPLIED WITH ELECTRICITY FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES	108
Abdusamiev F. T., Bahriev S. H., Musse Smaila Raufi , Rakhmonov Sh. S. ANAEROBIC BIOGAS REACTOR - BIOTOILET	113
Oev O.T., Yadgorov Y.Kh., Karimov O.A., Oblokulov E.R. MONITORING OF GEODETIC POINTS AND MARKERS USING AN ELECTRONIC TACHEOMETER	118

ECOLOGY

Abdullozoda S. F., Rakhmatzoda M.N., Ismoilzoda K.A. STUDY OF THE CONTENTS OF Th AND U IN SOIL SAMPLES IN THE SOUTHEASTERN PART OF SUGH D REGION	125
Makhmadaliev A.G., Haqdod M.M. INCREASED COAL PRODUCTION AND ITS IMPACT ON THE ENVIRONMENT OF THE ZERAVSHAN MINING REGION	131
Saidzoda V.Y., Mirsaidzoda I.U., Fazilov A.R. PRINCIPLES OF SYSTEM ENGINEERING IN DESIGNING THE RECLAMATION OF URANIUM TAILING SITES	139
Raufi K.A. ANALYSIS OF THE ECOLOGICAL AND ECONOMIC METHOD OF ASSESSING THE EFFICIENCY OF PRODUCT PROCESSING ..	149
Khojaeva N.H., Kariyeva F.A., Abdulloeva P.N. DEVELOPMENT OF ECO-TOURISM AND ITS NEW OPPORTUNITIES IN TAJIKISTAN	157
Hojizoda S.Q. KINETICS OF URANIUM SORPTION FROM MINE WATER OF THE KIIK-TAL DEPOSIT WITH VARIOUS SORBENTS	162
Oev O.T., Yadgorov Y.Kh., Makhmudov M.Yu. ESTABLISHING OF A PLANNED GEODETIC BASIS USING GNSS EQUIPMENT	168

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ НА ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ДАНГАРИНСКОГО МАССИВА ТАДЖИКИСТАНА

Пулатов Я.Э.^{1,*}, Муминов С.²

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

²Таджикский аграрный университет им Ш.Шотемур

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

Аннотация. В статье приводятся результаты исследований по изучению водно-физических свойств типичных и тёмных серозёмов неорошаемых и староорошаемых почв Дангаринского массива Таджикистана. Установлены значения удельной и объемной массы почвы, пористость и водопроницаемость почвы. Выявлено, что под влиянием антропогенных факторов - длительное орошение и механическая обработка в староорошаемой сероземной почве происходит снижение (ухудшение) водопроницаемости почвы. Изучено влияние объемной массы на урожайность сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: типичный и тёмный серозём, объемная и удельная масса почвы, пористость, водопроницаемость, урожайность.

Введение

В сухостепных и полупустынных регионах рациональное использование земельных ресурсов и производство продукции земледелия без искусственного увлажнения (орошения) почвы невозможно. В условиях аридного климата, где испаряемость превосходит осадки ирригация является важнейшим условием получения гарантированных урожаев и устойчивого развития сельскохозяйственного производства. На современном этапе развития земледелия орошаемые почвы используются дехканскими хозяйствами без учета особенностей их свойств, не соблюдения научно-обоснованных рекомендаций по возделыванию сельскохозяйственных культур, что приводит к потере естественного плодородия, содержания органики и ухудшению водно-физических и других свойств почвы.

Орошаемые почвы Таджикистана в разные годы исследовали [1-14] Антипов-Каратаев И.Н., Керзум П.А [1], Грабовская О.А. [2], И.Н.Антипов-Каратаев, Филиппова В.Н. [3], Кутеминский В.Я., Леонтьева Р.С [4], В.А.Ковда [5], Керзум П.А., Васильчикова С.И. [6], Дрожина Т.М. [7], Чаповская Е.В., Дрожина Т.М.

[8], Домуллоджанов Х.Д, Пулатов Я.Э. [9], Алиев И.С., Турсунов Д.А., Яковлев Б.Б. [10], Пулатов, Я.Э. [11, 12, 13], Сангинов С.Р. [14], Султанов М.С. [15], Ахмадов Х.М., Алиев И.С., Ходжаев Ш.И. [16] и другие.

В обеспечении растений водой, наряду с громадной ролью корневой системы, первостепенное значение имеет подвижность почвенной влаги, обуславливаемая физическими особенностями почво-грунтов. Поведение её находится в прямой зависимости от влажности и водно-физических свойств почво-грунтов. Решающее значение имеют свойства, определяющие плотность сложения и также водно-физические показатели – наименьшую влагоемкость (НВ), водопроницаемость, объемную массу, приток влаги из грунтовых вод, влажность завядания растений, максимальную гигроскопичность, водоотдачу, от которых непосредственно зависит программа орошения.

Ежегодно как в мировом масштабе, так и в Таджикистане сокращается площадь орошаемых почв, почти прекратились почвенно-мелиоративные исследования крупномасштабного характера и почвенно-агрохимический мониторинг.

По-видимому, настало время осмысления воздействия длительного орошения и других антропогенных влияний на изменение основных свойств и режимов почв долинных территорий и разработка предложений по их улучшению в новых экономических условиях, где реализуется аграрная и земельная реформа.

Целью исследований является в изучении водно-физических свойств староорошаемых почв под воздействием длительного орошения и антропогенных нагрузок и разработка предложений по улучшению этих показателей для создания оптимальных условий устойчивого развития земледелия в условиях Дангаринской долины Таджикистана.

Объектом исследований являлись староорошаемые типичные и тёмные серозёмные почвы Дангаринской долины Таджикистана. Исследования проводились в течении 2014-2016 гг. в хозяйстве «Хосилот» джамоата Чорсада Дангаринского района. Уровень грунтовых вод (УГВ) находился ниже 3-х метров в течении всей вегетации. В соответствии со шкалой гидромодульного районирования орошаемой территории Республики Таджикистан, орошаемый участок относится к III- гидромодульному району (ГМР).

В качестве мер по улучшению водно-физических свойств почвы использованы различные нормы минеральных удобрений под хлопчатник.

Методы исследования. На опытном участке для изучения водно-физических свойств почвы, проведения и составления программы поливов, проводились полевые и лабораторные исследования. Перед закладкой опыта выполнено морфологическое описание почв в 2-х шурфах до глубины 2м. Определение гранулометрического состава почвы проводился по методике Н.А. Качинского [17, 18], объемная масса почвы определена методом цилиндров (объем цилиндра - $502,4\text{см}^3$).

Удельная масса почвы определена пикнометрическим методом в лабораторных условиях. Порозность подсчитана по данным объемной и удельной массы почвы, водопроницаемость определялась методом колец в начале вегетации. Максимальная гигроскопичность (МГ) определялась по методу А.В. Николаева (1974); влажность завядания (ВЗ) определялась как удвоенное значение максимальной гигроскопичности почвы (МГ); наименьшая влагоемкость почвы (НВ) определялась методом Л.А. Розова (путем заливания площадок), влажность почвы определялась термостатно-весовым методом в 4-х кратной повторности.

Результаты исследования. Установлено, что почва опытного участка - староорошаемый типичный серозем, пахотный горизонт 0-30 см имеет тёмно-серую окраску, глыбисто-пылеватой структуры, подпахотный слой расположен на глубине 30-45 см с темно-серым оттенком, крупно комковатый. Под пахотный горизонт обычно комковато – глыбистой структуры. Выявлено, что объёмная масса, отражающая сложение и плотность профиля почвы по генетическим горизонтам в неорошаемых сероземах темных колеблется вниз по профилю почв от $1,1$ до $1,58\text{ г/см}^3$, а на староорошаемых почвах изменяется от $1,37$ до $1,5\text{ г/см}^3$.

Удельная масса или плотность скелета почвы, отражающая ее минералогический состав и содержание органического вещества, варьирует в узких пределах и изменяется от $2,65$ до $2,75\text{ г/см}^3$ и $2,64$ – $2,71\text{ г/см}^3$, соответственно (табл.1.).

Подсчитано, что общая скважность на неорошаемых темно-серозёмных почвах изменяется от $58,5$ до $42,6\%$, то есть с углубиной она снижается. Такая картина (от 48 до 43%) выявлена на староорошаемых темно-серозёмных почвах Дангаринской долины.

Таблица 1. Физических параметры темного и типичного серозема в условиях Дангаринской долины.

Мощность генетических горизонтов, см	Глубина взятия образцов, см	Объёмная масса, г/см ³	Удельная масса, г/см ³	Общая скважность, %	Порозность аэрации, %
Темный серозем, неорошаемый					
0-30	0-10	1.10	2.65	58.49	34.62
	10-30	1.47	2.69	45.35	5.66
30-85	30-50	1.50	2.71	44.65	4.00
	50-85	1.52	2.70	43.70	3.42
85-140	85-110	1.50	2.71	44.65	7.45
	110-140	1.58	2.75	42.55	-1.85
Темный серозём, староорошаемый, 2016					
0-30	0-10	1.37	2.64	48.11	15.77
	10-30	1.56	2.66	41.35	4.85
30-85	30-50	1.53	2.68	42.91	8.94
	50-85	1.38	2.69	48.70	18.48
85-140	85-110	1.34	2.71	50.55	20.27
	110-140	1.50	2.64	43.18	10.18
Серозем типичный, неорошаемый					
0-25	0-10	1.24	2.67	53.56	17.72
	10-25	1.45	2.67	45.69	6.54
25-50	25-50	1.32	2.67	50.56	8.19
50-120	50-75	1.22	2.68	54.48	23.98
	75-100	1.25	2.67	53.18	23.18
	100-120	1.25	2.72	54.04	24.79
120-210	120-150	1.31	2.69	51.30	18.42
	150-180	1.35	2.69	49.81	17.95
	180-210	1.35	2.69	49.81	17.82
Серозем типичный, староорошаемый					
0-25	0-10	1.42	2.67	50.56	20.99
	10-25	1.57	2.67	44.94	12.31
25-50	25-50	1.52	2.69	43.49	13.09
50-120	50-75	1.42	2.73	47.99	21.72
	75-100	1.46	2.72	46.32	20.92
	100-120	1.32	2.65	50.19	17.06
120-210	120-150	1.31	2.76	52.54	21.62
	150-180	1.36	2.69	49.44	17.21
	180-210	1.34	2.66	49.62	17.46

Пористость почвы – суммарный объем всех пор в единице объема почвы. Формирование пористости почвы происходит в результате действия различных факторов: образования и разрушения структуры, упаковки и переупаковки почвенных

частиц, микро- и макроагрегатов, растрескивания почвенной массы под влиянием попеременно действующих процессов нагревания-охлаждения и набухания-усадки, заполнения свободного пространства подвижным почвенным материалом, об-

разования фитопор выщелачивания растворимых веществ.

Величина пористости зависит от гранулометрического состава и характера структуры, содержания гумуса и биогенности почвы, а в агроценозах от обработки и приемов окультуривания.

В процессе выращивания сельскохозяйственных культур для создания опти-

мальной пористости используют различные приемы поверхностной и основной обработки почвы: вспашку, культивацию, боронование и др.

Для оценки почв по показателю пористости нами использована классификация Н.А. Качинского (табл.2.).

Таблица 2. Классификация пористости, в %, (по Н.А. Качинскому).

Шкала оценки	Пористость, %
Наилучшая	> 50
Хорошая	45 – 50
Удовлетворительная	40 – 45
Неудовлетворительная	< 40
Весьма плохая	< 30

При увлажнении почвы пористость уменьшается из-за набухания почвы. Глинистые почвы имеют больший объем пор, чем песчаные, а структурные - большую пористость, чем бесструктурные. У рыхлых почв величина пористости выше, чем у плотных. Пористость почвы определяет ряд ее важнейших свойств и протекающих в ней процессов. С ней связаны биологические процессы в почвах, воздушный и водный режимы, водопроницаемость, влагоемкость, водоподъемная способность [17, 18].

Таким образом, пористость изученных почв (и темные типичные серозёмы) согласно классификации Качинского Н.А.

изменяется от «удовлетворительной» до «наилучшей».

Результаты изучения влияния объёмной массы почвы на урожайность сельскохозяйственных культур показали, что между ними существует прямая зависимость, то есть чем выше объёмная масса почвы, тем ниже урожайность сельскохозяйственных культур.

На основе проведения полевых исследований получены данные, характеризующие влияние объёмной массы почвы на урожайность хлопчатника и кукурузы. В таблице 2 показаны обобщённые потери урожая по отношению к потенциальному урожаю в зависимости от объёмной массы почвы в пахотном 0-30 см слое.

Таблица 2. Влияние объёмной массы почвы на урожай сельскохозяйственных культур (на примере хлопчатника и кукурузы).

Объёмная масса, г/см ³	Процент образцов	Потери урожая, %
>1.6	13	70-75
1.5-1.6	23	40-55
1.4-1.5	27	15-20
<1.4	37	0

Согласно нашим оценкам в староорошаемых почвах Дангаринской долины под влиянием повышенного показателя объёмной массы в пределах 1,4-1,5 при-

мерно 25 % от потенциального урожая сельскохозяйственных культур теряется. Высокая уплотненность некоторых орошаемых почв является их естественной

особенностью, которую можно было бы заметно улучшить путем таких агротехнических приемов, как внесением органических удобрений порядка 30 тон/га, глубокая вспашка, внедрением севооборотов с включением многолетних трав (люцерна, эспарцет). Вопросы влияния человеческой деятельности на уплотнение почвы (вспашка обработка почвы, поливы и т.д.), использование тяжелых сельскохозяйственных машин, особенно на влажных почвах требуют проведения специальных исследований.

Выявлено, что в течение длительного орошения пористость изученных почв уменьшается вследствие оседания и заиливания. При снижении пористости, увеличивается объемная масса почвы, повышается трудность ее вспашки и междурядных обработок понижается воздухообмен - и водопроницаемость и затрудняется развитие корневой системы растений.

Наименьшая влагоемкость (НВ), или предельная полевая влагоемкость (ППВ) – это наибольшее количество воды, которое остается в почве после ее полного увлажнения и свободного стекания избыточной воды. Величина наименьшей влагоемкости зависит от гранулометрического и минералогического состава, плотности и пористости почвы. Она соответствует величине капиллярно-подвешенной воды. Наименьшая влагоемкость – важнейшая характеристика водных свойств почвы, дающая представление о наибольшем количестве воды, которое почва способна накопить и длительное время удерживать. Она составляет (в % от веса абсолютно сухой почвы): для песчаных – 4 – 9, супесчаных – 10 – 17, легко- и среднесуглинистых – 18 – 30, тяжелосуглинистых и глинистых – 23 – 40. Наибольшие значения ППВ характерны для гумусированных почв тяжелого механического состава, обладающих хорошо выраженной макро- и микроструктурой. Наиболее широко используются: максимальная гигроскопи-

ческая влажность, влажность завядания (ВЗ), наименьшая влагоемкость (НВ) и полная влагоемкость (ПВ). При влажности ПВ вся система капиллярных пор заполнена водой, поэтому создаются оптимальные условия влагообеспеченности растений. Влажность завядания растений – это почвенная влажность, при которой у растений появляются признаки завядания, не исчезающие при помещении растений в атмосферу, насыщенную водяным паром, т.е. это нижний предел доступной растениям влаги (численно равна 2 МГ). Влажность завядания зависит от вида растений и свойств почвы. Чем тяжелее механический состав почвы, чем больше в ней органического вещества, тем выше ВЗ. В среднем она составляет: в песках – 1 – 3 %, в супесках – 3 – 6 %, в суглинках – 6 – 15 % от массы абсолютно сухой почвы. Для растений доступна только та часть почвенной влаги, которая может быть усвоена в процессе жизнедеятельности. Она называется продуктивной влагой, так как используется для образования урожая и вычисляется как разница между ППВ и ВЗ.

Водопроницаемость почвы при впитывании, когда процесс насыщения почвы водой еще не закончился, принято выражать в мм водного слоя в единицу времени, например, в мм/мин или мм/час. По окончании впитывания и после начала фильтрации движение воды в почве начинает подчиняться закону Дарси о движении жидкости через пористые среды. Этот закон математически выражается формулой

$$Q = K \cdot h / l \cdot \omega,$$

где Q — объем воды, просочившейся в единицу времени,

h — падение напора, или разность уровней воды в двух точках потока,

l — расстояние между этими двумя точками (длина пути просачивания воды),

ω — площадь поперечного сечения потока,

K — коэффициент фильтрации, постоянная величина, зависящая от свойств фильтрующей среды. K выражается обычно в см/сек, т. е., как и водопроницаемость, имеет размерность скорости.

Однако, это не истинная скорость просачивания воды через почву или грунт, а фиктивная, относящаяся ко всему поперечному сечению почвы или грунта, через которое происходит фильтрация,

или просачивание. А так как свободная порозность составляет лишь часть этого сечения, то истинная скорость движения воды V будет, очевидно, больше. Эту скорость иногда вычисляют как частное от деления K на порозность:

$$V = K/\Pi$$

Для оценки почв по показателю уровня водопроницаемости нами использована классификация ФАО (табл. 3.)

Таблица 3. Классификация почв по уровню водопроницаемости (ФАО, 1995).

Классы водопроницаемости почв	Водопроницаемость	
	см/час	см/день
Очень медленный	< 0.13	< 3
Медленный	0.13 - 0.3	3 - 12
Умеренно слабый	0.5 - 2.0	12 - 48
Умеренный	2.0 - 6.3	48 - 151
Умеренно быстрый	6.3 - 12.7	151 - 305
Быстрое	12.7 - 25	305 - 600
Очень быстрое	> 25	> 600

Нашими исследованиями установлено, что в темном неорошаемом сероземе при переходе от верхних почвенных слоев к подстилающей породе водопроницаемость уменьшается почти в 33 раза.

Необходимо отметить, что хорошо водопроницаемые почвы значительно легко отдают воду растением, лучше передвигают ее к корневой системе растений, и соответственно меньше теряют ее, при хорошей обработке почвы, на испарение. Изменение водопроницаемости темного серозема для зоны богары, орошения и длительного орошения приводится в таблице 4.

Исследованные почвы обладают различной водопроницаемостью. Эта величина в условиях орошения имеет особое значение, так как с характером водопроницаемости связаны многие практические вопросы мелиорации, поливного режима, техники поливов, сток и смыл почвы. В проведенных нами опытах в течение восьми часов водопроницаемость измерялась в мм/час. В начальный период водопроницаемость как в неорошаемых, так и в орошаемых быстро снижается. При начальном значении в неорошаемых типичных сероземах от 4,26 мм/час в течение одного часа она снизилась, соответственно, до 1,02 мм/час. Через три часа водопроницаемость на неорошаемом типичном сероземе снизилась в 5 раз (с 4,62 см/час до 0,9 см/час), после чего она меняется уже мало. Этот момент обычно совпадает с полным насыщением почвы водой — окончанием впитывания воды — первым этапом процесса поступления влаги в почву, и началом второго этапа — чисто фильтрационного процесса сквозь почву, насыщенную влагой. Начиная с этого момента, водопроницаемость почвы может характеризоваться постоянной величиной — коэффициентом фильтрации (K).

Необходимо указать, что только что изложенное разграничение процесса поступления влаги в почву на два этапа является несколько условным. С одной стороны, фильтрация влаги в нижние слои почвы может начаться и тогда, ког-

да только что изложенное разграничение процесса поступления влаги в почву на два этапа является несколько условным. С одной стороны, фильтрация влаги в нижние слои почвы может начаться и тогда, ког-

да верхние слои еще не вполне насыщены влагой. С другой — фильтрация может происходить и вообще через почву, не насыщенную влагой, в особенности при ее легком гранулометрическом составе. Далее процесс насыщения влагой почвы стабилизируется, при этом продолжительность впитывания влаги почвой составляет примерно 2,5 часа. После полного насыщения почвы влагой, начинается период равномерного просачивания влаги через нее. Из таблицы 4 видно, что в течение периода впитывания водопроницаемость почвы под неорошаемом пашне значительно больше, чем на староорошаемом почве.

Необходимо отметить, что на типичном сероземе длительное орошение оказало негативное влияние на водопроницаемость почв, так за первые два часа или 120 минут на староорошаемом типичном сероземе водопроницаемость снизилась на 38-40% по сравнению с типичным неорошаемым сероземом. В последующем интервале времени в течение 120-360 минут водопроницаемость почвы на староорошаемом типичном сероземе была на 15-18% ниже неорошаемой почвы. После 480 минут водопроницаемость почвы на обоих изученных почвах типичного серозема была на одном уровне, т.е. влияние длительного орошения после 8 часов не установлено. Результаты определения водопроницаемости показали, что скорость впитывания исследованных почв различна как по отдельным периодам наблюдения так по общему количеству впитываемой воды за весь период. Более высокой водопроницаемостью отличались богарные неорошаемые типичные и темные сероземы. Повышенная скорость впитывания у богарной почвы объясняется не только сложением и более высокой порозностью пахотного слоя, а также присутствием в ней крупных пор, ходов от сгнивших корней и наличием в почво-грунте рассеянного крупно кристаллического гип-

са, которые значительно способствуют увеличению скорости впитывания воды в почву. Изучение действия длительного орошения на темном неорошаемом сероземе и староорошаемом, темном сероземе показало, что в течение 60 минут разница составила 15%. Удивительно, что впоследствии произошло некоторое сближение в водопроницаемости почв, но после шести часов произошло сильное различие между изученных почв, разница между староорошаемым сероземом и неорошаемым в период 360 минут составила 25%, 420 минут 30% и в течение 480 минут 53%. Это обусловлено тем, что неорошаемая пашня обладает хорошей структурой и менее уплотнена, в то время как на старопашке структура разрушена длительным орошением, монокультурой хлопчатника, снижением содержания органических веществ почвы, особенно гумуса и многократной обработкой почвы.

Выводы

1. Выявлено, что под влиянием антропогенных факторов- длительное орошение и механическая обработка в староорошаемой сероземной почве происходит снижение (ухудшение) водопроницаемости почв.
2. Установлена зависимость наименьшей влагоемкости (НВ) почвы, которая составляет: для песчаных – 4–9, супесчаных – 10–17, легко- и среднесуглинистых – 18–30, тяжелосуглинистых и глинистых – 23–40 % от веса абсолютно сухой почвы. Наибольшие значения НВ характерны для гумусированных почв тяжелого механического состава, обладающих хорошо выраженной макро- и микроструктурой.
3. Объемная масса, отражающая сложение и плотность профиля почвы по генетическим горизонтам в неорошаемых сероземах темных колеблется вниз по профилю почв от 1,1 до 1,58 г/см³, а на староорошаемых почвах изменяется от 1,37 до 1,5 г/см³.

Таблица 4. Влияние орошения на водопроницаемость типичных и темных сероземов Дангаринской долины.

Почвы	Единица измерения	Водопроницаемость за интервал времени, минут								Средняя за 8 часов
		60	120	180	240	300	360	420	480	
Сероземы типичные неорошаемые, легкосуглинистые	мм/мин	0.91	0.27	0.15	0.13	0.12	0.1	0.08	0.06	0.23
	см/час	5.46	1.62	0.9	0.78	0.72	0.6	0.48	0.36	
	см/сутки	131.04	38.88	21.6	18.72	17.28	14.4	11.52	8.64	
Сероземы типичные стороорошаемые, легкосуглинистые	мм/мин	0.67	0.26	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.06	0.19
	см/час	3.42	0.96	0.78	0.66	0.6	0.54	0.48	0.36	
	см/сутки	82.08	23.04	18.72	15.84	14.4	12.96	11.52	8.64	
Сероземы темные неорошаемые, среднесуглинистые	мм/мин	0.96	0.31	0.18	0.20	0.13	0.14	0.12	0.12	0.27
	см/час	5.76	1.86	1.08	1.2	0.78	0.84	0.72	0.72	
	см/сутки	138.24	44.64	25.92	28.8	18.72	20.16	17.28	17.28	
Сероземы темные старорошаемые среднесуглинистые	мм/мин	0.81	0.29	0.18	0.17	0.12	0.11	0.09	0.06	0.23
	см/час	4.86	1.74	1.08	1.02	0.72	0.66	0.54	0.36	
	см/сутки	116.64	41.76	25.92	24.48	17.28	15.84	12.96	8.64	

4. Удельная масса или плотность скелета почвы, отражающая ее минералогический состав и содержание органического вещества, варьирует в узких пределах и изменяется от 2,65 до 2,75 г/см³ и 2,64 – 2,71 г/см³, соответственно.

Литература

1. Антипов-Каратаев И.Н. Керзум П.А. Гидрогеологическое и почвенно-мелиоративное районирование Вахшской долины // Почвы Вахшской долины и их мелиорация, Душанбе; Госиздат ТаджССР, 1947.-С.106-121.
2. Грабовская О.А. Почвы Вахшской долины // Почвы Вахшской долины и их мелиорация. Душанбе, 1947,С.67-113.
3. Антипов-Каратаев И.Н., Филиппова В.Н. Влияние длительного орошения на процессы почвообразования и плодородие почв степной зоны европейской части СССР. М.: Издво АН СССР, 1955. — 205 с.
4. Кутеминский В.Я., Леонтьева Р.С. Почвы Таджикистана. Душанбе, Ирфон, 1966. -С.47-88.
5. Ковда В.А. Почвы аридной зоны // Почвы аридной зоны как объект орошения. М. Наука. 1968. -С.35.
6. Керзум П.А., Васильчикова С.И. Свойства вновь осваиваемых под орошение почв Яванской долины и влияние на них проведенных мелиораций //Тр. ТНИИП, Душанбе, 1971. Т.14.-С.313.
7. Дрожина, Т.М. Водно-физические свойства и дифференциальная порозность основных почв Гиссарской долины Таджикистана -Автореф. дисс. канд.с.-х.наук. Душанбе:1971. - 21 с\
8. Чаповская Е.В., Дрожина Т.М. Водоподёмная способность некоторых почв Гиссарской и Вахшской долин. Труды Тадж НИИ почвоведения. Т.15.Вып.1. Душанбе, 1972.- С.137.
9. Пулатов, Я.Э. Режим орошения кукурузы в Гиссарской долине / Я.Э. Пулатов, Х. Домул-лоджанов // Ж. Сельское хозяйство Таджикистана, 1, 1984- С.41-43
10. Алиев И.С., Турсунов Д.А., Яковлев Б.Б. Особенности сельскохозяйственного освоения трудномелиорируемых почв Аштского массива. Труды ТаджНИИ почвоведения. Т.25. Душанбе, 1986. С.48-54.
11. Пулатов, Я.Э., Режим орошения кукурузы в Таджикистане. Монография, Душанбе, «Ирфон», 1992 - 231с.
12. Пулатов Я.Э., Пулатова Ш.Я., Умарова Л.Д., Азизов Д.Н., Исаев Д.А. Теория и практика реализации принципов интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР) .. Ж. Водные ресурсы, энергетика и экология. Душанбе, 2024. -С.9-21.
13. Пулатов Я.Э., Кариева Ф.А., Худоназарова М.Д. Управление водно-земельными ресурсами в Таджикистане: гендерный компонент. Научно-практический журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии национальной академии наук Таджикистана. Душанбе, 2024. -Т.4. №3. -С.10-16.
14. Сангинов С.Р. Комплексная диагностика минерального питания хлопчатника в условиях Таджикистана. Автореферат докт. дисс. Ташкент, 1994.С.-42.
15. Султанов М.С. Агрохимические свойства и пути повышения плодородия мелиорированных новоорошаемых почв Таджикистана. Дисс.доктора с.-х.н. Душанбе, 1997.-С.48.
16. Ахмадов Х.М., Алиев И.С., Ходжаев Ш.И. Некоторые физические и химические свойства гипсоносных почв Юго-западного Таджикистана. // Доклады ТАСХН, №2 (24) .Душанбе, 2010- С.15-21.
17. Качинский Н.А. Водно-физические свойства почвы. Часть II.М., Высшая школа, 1970, 358 с.
18. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. -Изд-во АН СССР, Москва, 1958.-С.158.

ТАЪСИРИ ОБЁРӢ БА ХУСУСИЯТҲОИ ОБӢ-ФИЗИКИИ ЗАМИНҲОИ КӢҲНАИ ОБЁРИШАВАНДА ДАР ШАРОИТИ МИНТАҚАИ ДАНҒАРАИ ТОҶИКИСТОН

Пулатов Я.Э.^{1,*}, Муминов С.²

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

²Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Шириншоҳ Шотемур

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

Шарҳи мухтасар. Дар мақола натиҷаҳои тадқиқот оид ба хосиятҳои обӣ-физикии хокҳои маъмулӣ ва тираи заминҳои обёринашаванда ва кӯҳнаи массиви Данғараи Тоҷикистон оварда шудаанд. Қиматҳои вазни хос ва ҳаҷми хок, ковокӣ ва обгузаришии хок муқаррар карда шуданд. Муайян карда шуд, ки дар зери таъсири омилҳои антропогенӣ-обёрӣ дарозмуддат ва коркарди механикӣ дар заминҳои кӯҳна обёришаванда пастшудани (бадишудани) обгузарониши хок ба амал меояд. Таъсири зичии хок ба ҳосили зироатҳо омӯхта шуд.

Калидвожаҳо: хокҳои хокистарранг, вазни хос, ҳаҷми хок, ковокӣ, гузаришии об, ҳосилнокии зироатҳо.

IMPACT OF LONG-TERM IRRIGATION ON THE HYDROPHYSICAL PROPERTIES OF OLD-IRRIGATED SOILS IN DANGARA MASSIF OF TAJIKISTAN

Pulatov Ya.E.^{1,*}, Muminov S.²

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

²Tajik Agrarian University named after Shirinsho Shotemur

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

Abstract. The article presents the results of studies on the hydrophysical properties of typical and dark sierozems of non-irrigated and old-irrigated soils of the Dangara massif of Tajikistan. The values of specific and volumetric mass of soil, porosity and water permeability of soil were established. It was revealed that under the influence of anthropogenic factors - long-term irrigation and mechanical processing in old-irrigated sierozem soil leads to a decrease (deterioration) in water permeability of soil. The impact of bulk density on crop yields was studied.

Keywords: typical and dark sierozem, bulk and specific gravity of soil, porosity, water permeability, crop yields.

Маълумот дар бораи муаллиф: Пулатов Яраш Эргашевич - Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, мудири шуъбаи идоракунии захираҳои об ва обсарфанамоӣ, узви хориҷии Академияи илмҳои Россия, доктори илмҳои кишоварзӣ, профессор. Тел.: (+992)111177556, E-mail: tj_water@mail.ru

Сведения об авторах: Пулатов Яраш Эргашевич – Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, заведующий отделом управления водными ресурсами и водосбережения, Иностранный член Российской академии наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор. Тел: (+992)111177556. Эл.почта: tj_water@mail.ru; Муминов С. - Таджикский аграрный университет им Ш.Шотемур.

Information about the authors: Pulatov Yarash Ergashevich – Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Head of the Department of Water Resources Management and Water Saving, Foreign Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor. Phone: (+992)111177556. E-mail: tj_water@mail.ru; Muminov S. - Tajik Agrarian University after named Shirinsho Shotemur

УДК: 504.1:005.334

ОЦЕНКА СЕЛЕВОЙ ОПАСНОСТИ БАССЕЙНА САЯ ТЕБОЛАЙ

Ниязов Дж.Б.^{1,*}, Одиназода Т.Ш.², Мирзохонова С.О.^{3,1},
Саидзода С.М.⁴, Эшанкулова З.У.¹

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

²Кулябский государственный университет им. А.Рудаки

³Таджикский национальный университет

⁴Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана».

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

Аннотация. Оценка селеопасности, управление рисками и их снижение крайне важны для безопасности горных и предгорных территорий. Районирование территории по степени селевой пораженности имеет теоретическое и практическое значение, позволяя оценивать уровень опасности для существующих и планируемых объектов. Для моделирования ЧС используются геоинформационные системы (ГИС) и данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для оценки риска, анализа развития и прогнозирования последствий опасных событий. В ходе проведенных исследований предложены варианты снижения ущерба от селевых потоков: создание селехранилищ и каскада плотин из традиционных и современных материалов. Эти решения основаны на геопространственном анализе с применением ГИС, выявляющими взаимосвязи и тенденции, трудно обнаруживаемые другими способами. Определены возможные места расположения этих гидросооружений с учетом геологических, гидрологических и социально-экономических факторов. Внедрение ГИС для оценки селевой опасности и управления рисками, связанными с опасными гидрологическими явлениями, позволит повысить эффективность мониторинга и прогнозирования селевых событий и оптимизировать планирование и реализацию мер по снижению риска.

Ключевые слова: селевая опасность, бассейн сая Тебалай, селезащита, ГИС и ДЗЗ, чрезвычайная ситуация, обеспечение безопасности населения.

Введение

Объект исследования. Кулябский регион подробно изучен с точки зрения геологического строения, тектонического движения земной коры, сейсмичности. Однако комплексные оценки техногенной и природной опасности и риска, включающие оползневые, обвальные явления, наводнения, подтопления территорий, сели были проведены без детального анализа и учета стандартизированной методологии, определяющей риск. Поэтому при реальном воздействии стихии и отсутствии эффективной системы раннего оповещения население не было подготовленным к отражению сильного наводнения в 2010 г. (7-10 мая) в Кулябской зоне Хатлонской области (табл.1). Причиной подавляющего количества стихийных бедствий в бассейне сая Теболай, является активизация опасных геологических процессов (оползни, сели, эрозионные процессы, подмыв

берегов рек, просадка грунтов и др.), возникающих под воздействием воды.

Причинами подавляющего количества стихийных бедствий в бассейне сая Теболай (38°59'24.13"N, 70°43'5.89"E), является активизация геологических процессов (оползни, сели, эрозионные процессы, подмыв берегов рек, просадка грунтов и т.д.), возникающих под воздействием воды. Формирование селевых потоков в бассейне сая Теболай, связано со скоплением большого количества рыхлообломочного материала на горных склонах хребта Кичиктерай и в руслах водотоков сая Теболай, а также с обильным выпадением осадков. В некоторых случаях причиной формирования селей преобладает многофакторность, не всегда подающаяся изучению обычными методами.

Оценка селеопасности территории бассейнов горных водотоков, управление и снижение риска имеет исключительно

большое значение для обеспечения безопасности жизнедеятельности горных и предгорных территорий. При этом районирование территории по степени селевой поражённости имеет как теоретическое, так и большое практическое значение, позволяющее оценивать уровень селевой опасности для существующих или планируемых к строительству объектов различного назначения на данной территории [1].

По условиям формирования и динамики селевого процесса селевой участок Теболай является типичным для бассей-

на реки Кызылсу-Яхсу. Селепроявления отмечаются практически во всех саях, оврагах и крупных промоинах, формирующихся в результате затяжных ливневых дождей и интенсивного таяния снежного покрова. В зависимости от генетических и парагенетических типов четвертичных отложений и процессов, вызывающих их накопление и разгрузку в селевые русла, все селеформирующие очаги разделены на 4 типа согласно классификации Ф.П. Саваренского [2]: эрозионные; эрозионно-гравитационные; гравитационные; аккумулятивные.

Таблица 1. Последствия наводнения 7-10 мая 2010 г. в Кулябской зоне Хатлонской области РТ (данные группы РЕАКТ, КЧС и ГО РТ).

Район	Разрушено			Пострадало			Всего		
	Домов	Семей	Людей	Домов	Семей	Людей	Домов	Семей	Людей
Куляб	229	435	2271	269	554	2870	498	989	5141
Васе	38	38	283	49	49	365	87	87	648
Темурмалик	3	3	17	11	17	77	14	20	94
Муминобад	10	10	65	39	39	318	49	49	383
Ховалинг	3	3	24	8	8	66	11	11	90
Шурабад	12	12	89	88	91	675	100	103	764
Большджуан	8	9	67	44	44	329	52	53	396
Всего	303	510	2816	508	802	4700	811	1312	7516

Сели, произошедшие утром 7 мая, разрушили Чармгаронский район г.Куляба. Согласно официальным подтверждённым данным в районе 16 погибших и 40 пропавших без вести, 85 раненных [3]. В ночь с 10 на 11 мая 2010 г., селевой поток, прошедший по саю Теболай (Кулябский район, Республики Таджикистан), водосборная площадь которого составляет около 115 км². Высота селевого грязекаменного потока в кишлаке Богыхабиб (восточнее г.Куляб) достигала более одного метра [4].

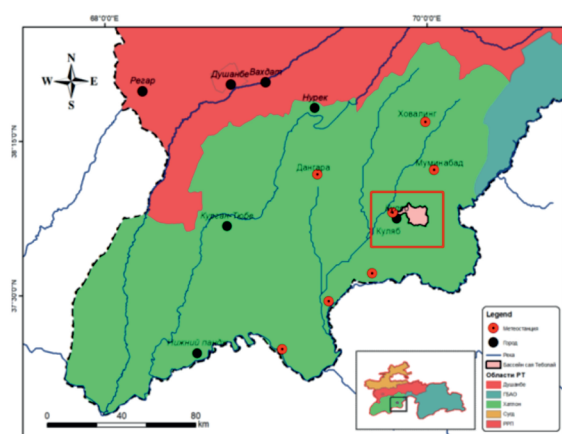
Интервал между прохождением селевых потоков, связан с большим количеством накопленного объёма рыхлообломочного материала. В верховьях сая Теболай на крутосклонных участках широко развиты оползневые и обвальные процессы, при активизации которых про-

исходит частичное, а местами полное перекрытие саев. В периоды весеннего снеготаяния и выпадения дождей на таких участках образуются небольшие озёра, которые со временем прорываются, усугубляя ситуацию при прохождении селевых потоков. Одним из немаловажных причин образования селевых потоков является чрезмерное увлажнение грунтов после зимнего периода, когда медленное таяние снегов способствует инфильтрации воды в грунты.

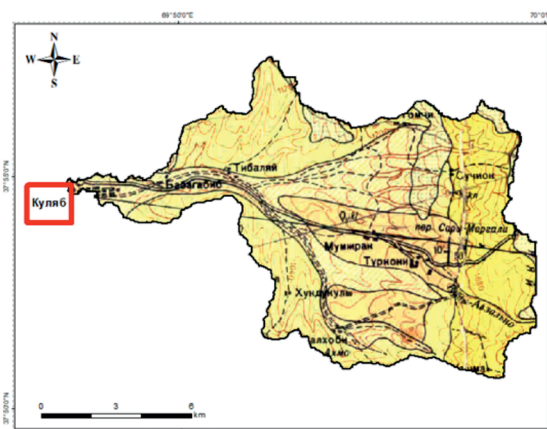
В пределах исследуемой территории (рис. 1, а,б) наиболее распространены процессы, связанные с группой эрозионно-денудационных процессов, вызванные деятельностью поверхностных вод: сели, оврагообразование, склоновая эрозия, подмыв и обрушение бортов. Селевые процессы широко развиты в пределах

всех геоморфологических зон бассейна сая Теболай и сопровождаются развитием гравитационных оползневых явлений, либо сопровождают их. Обеспечение безопасности г.Куляба, одного из крупнейших населённых пунктов юга республики, является важным условием обеспечения

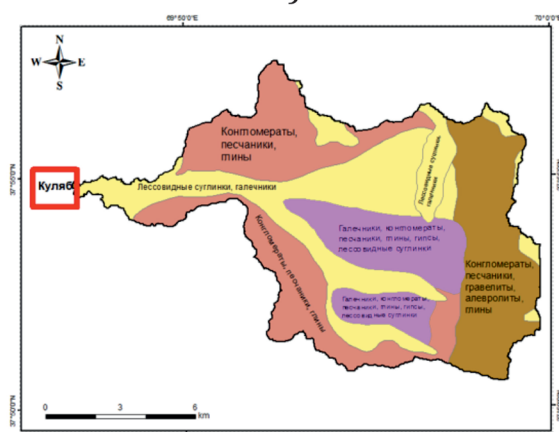
нормальной жизнедеятельности, эффективного функционирования систем инфраструктуры и общества и напрямую зависит от тех природных процессов, которые формируются в бассейне сая Теболай (рис.1, в,г,д).



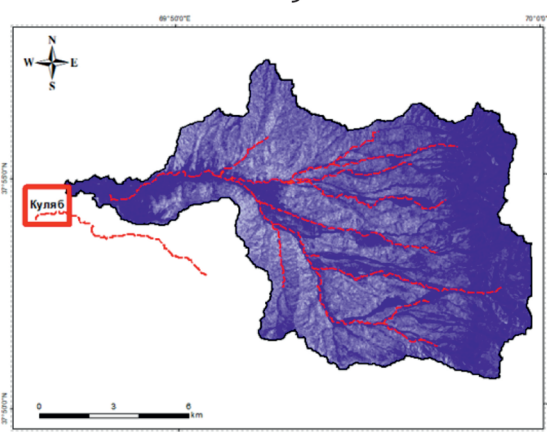
а)



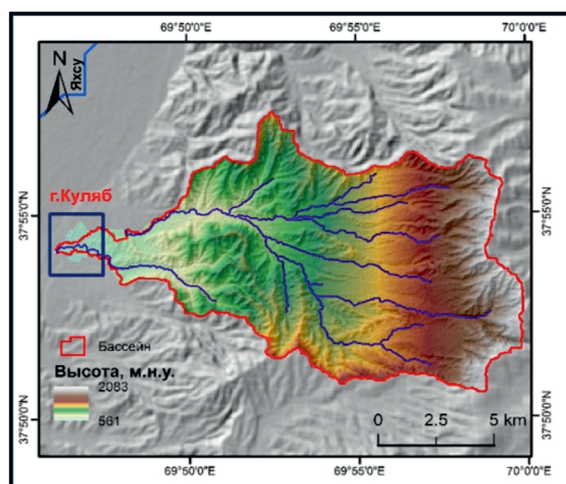
б)



в)



г)



д)

Рисунок 1. а) Южный Таджикистан. Хатлонская область. г. Куляб; б) Бассейн реки Теболай; в) Типы почв зоны исследования; г) Данные спутниковых данных SAR; д) Цифровая модель рельефа (DEM) зоны исследования.

Формирование селевых потоков в бассейне сая Теболай, связано со скоплением большого количества рыхлообломочного материала на горных склонах хребта Кичиктерай и в руслах водотоков сая Теболай, а также с обильным выпадением осадков. Хребет Кичиктерай протягивается в северо-восточном направлении и прорезан долинами многочисленных субширотных сухих и водных саёв-ручьев, которые своими верховьями достигают водораздельной линии. Наиболее крупными являются: Шуркул, Хундунул, Туркони, Теболай. Почти все саи селеносные, а больше половины из них на конусе выноса являются селеопасными. Питание саев осуществляется за счёт таяния снежников и выклинивания родников по бортам. Максимальный расход приходится на март-май месяцы и составляет 50-100 л/сек. Во второй половине года более 90% саёв безводны [4].

Методы исследования. В верховьях сая Теболай на крутосклонных участках широко развиты оползневые и обвальные процессы, при активизации которых происходит частичное, а местами полное прекращение саев. В периоды весеннего снеготаяния и выпадения дождей на таких участках образуются небольшие озёра, которые со временем прорываются, усугубляя ситуацию при прохождении селевых потоков. Одним из немаловажных причин образования селевых потоков является чрезмерное увлажнение грунтов после зимнего периода, когда медленное таяние снегов способствует инфильтрации воды в грунты. Интервал между прохождением селевых потоков, связан с большим коли-

чеством накопленного объёма рыхлообломочного материала.

В статье применялась комплексная методика, включающая в себя сбор и анализ топографических, геологических, гидрометеорологических данных, а также методика геопространственного анализа данных использование, включающего в себя применение Геоинформационных систем (ГИС) и методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), морфометрического анализа бассейна с применением инструментов геопространственного анализа с применением программ ArcGIS и Google Earth Pro.

Интенсивность ливневых осадков – пожалуй, самый критический фактор. Короткие, но очень сильные ливни (ливневые дожди) за короткий промежуток времени могут вызвать резкое увеличение поверхностного стока, эрозию рыхлых грунтов и инициировать сход селей. По данным ГУ по Гидрометеорологии в долине реки Яхсу количество осадков в мае превысило норму и составило по данным метеостанции Муминабад составило 154 мм (145%), по данным метеостанции Ховалинг – 163,2 мм (132%).

По данным ГУ по Гидрометеорологии в долине реки Яхсу в период 3-7 мая выпало 350 мм осадков (гидропост Карбозстонак) (3 мая - 1мм; 4 мая – 24 мм; 5 мая – 70 мм; 6 мая – 187 мм; 7 мая – 68 мм). В период с 4 мая по 7 мая 2010 года по данным Метеостанций Таджикгидромета (метеостанции Ховалинг, Муминабад, Дангара) (табл.2) выпало осадков от 106,2 до 136,3 мм, что превысило фоновое значение в несколько раз.

Таблица 2. Данные метеостанции по выполнению осадков.

мм/дд/гг	Ховалинг	Дангара	Муминабад
5/4/10	28.8	34.8	41.6
5/5/10	2	7.6	1.3
5/6/10	34.4	5.8	42.3
5/7/10	21.6	67.4	37.4
Сумма осадков	84,8	115,6	122,6

По климатическим данным в Кызыл-суйском регионе в мае месяце выпадает от 57,1 мм осадков (Дангара) до 134,9 мм (Ховалинг). В мае 2010 г. осадки превысили норму: в Дангаре выпало 195,7 мм; в Ховалинге 163,2 мм, а в Муминабаде 153,6 мм. За период с 4 по 7 мая 2010 г. выпало осадков выше нормы в Ховалинге 62,9%; в Муминабаде 125,7%;

в Дангаре 202,5% от месячной нормы.

В настоящее время для моделирования чрезвычайных ситуаций (ЧС) используются информационные и, в частности, нейросетевые технологии и данные космического зондирования земной поверхности. На этой основе разработаны геоинформационные системы (ГИС), предназначенные для оценки риска возникновения ЧС различных видов, анализа их развития и прогнозирования последствий опасных событий природного и техногенного характера. Главным достоинством ГИС является детальная цифровая, координатная и картографическая привязка опасных объектов, объектов инфраструктуры, учреждений, жилой застройки к местности, возможность учёта рельефа и метеословий, позволяющих совершенствовать качество прогнозирования ЧС и повышать эффективность управления силами и средствами ликвидации их последствий [5,6].

Проведённые исследования в зоне основного формирования селевого потока бассейна сая Теболай, позволяют сделать вывод о том, что производство противоселевых мероприятий из-за сложности горнотехнических и горно-геологических условий зачастую представляются малоэффективным или вообще невыполнимыми. Следовательно, производство противоселевых мероприятий целесообразнее перенести в зону основного транзита. При проектировании инженерной защиты от селевых потоков в зоне основного транзита, наиболее рациональными являются устройство:

- селезадерживающих сооружений, и селехранилищ (плотины бетонные, железобетонные, из каменной кладки (водосбросные, сквозные), из грунтовых материалов (глухие) создаваемые в верхнем бьефе;
- селезадерживающих карьеров (селехранилищ), предназначенных для задержания селевого потока в зоне её транзита (водосбросные, сквозные);
- селепропускных сооружений (каналы, селеспуски), предназначенные для пропуска селевых потоков по запланированному безопасному руслу;
- селенаправляющих сооружений (направляющие и ограждающие дамбы, шпоры), предназначенные для направления селевого потока в селепропускные сооружения.
- стабилизирующих сооружений (каскады запруд, подпорные стены, дренажные устройства, террасирование склонов, агролесомелиорация), предназначенные для прекращения движения селевого потока или ослабление его динамических характеристик;
- селепредотвращающих сооружений (плотины для регулирования селеобразующего паводка), предназначенных для предотвращения селеобразующих паводков.

На наш взгляд, наиболее оптимальными для рассматриваемой территории, с учётом местного рельефа, являются - селезадерживающие карьеры (селехранилища), используемые для задержания селевого потока в зоне её транзита.

Целевым назначением производства противоселевых мероприятий в зоне транзита и дополнительного питания селевых потоков является уменьшение объёма поступающего в русла рыхлообломочного материала. При этом, следует отметить, что с учётом местных условий и возникающих проблем (сложные геологические условия; большая площадь затоплений в верхнем и нижнем бьефах необходимость

переселения населения; значительные расходы на русловыправительные и берегоукрепительные сооружения), предлагают следующие способы и селесооружения:

- создание селезащитных карьеров;
- устройство селехранилищ в зоне формирования селевых потоков (рис. 2);
- создание каскада плотин из современных строительных материалов – гибкие противоселевые конструкции [7] (рис.3).

Для решения поставленных задач в работе использовались методы картографического анализа и цифровые методы картографирования, методы обработки, анализа и визуализации информации. Для построения и анализа моделей были использованы программные комплексы: ArcGIS, Google Earth Pro. Эти универсальные ГИС программы позволяют выполнять как картографический анализ, так и вычисление определённых характеристик гидрологических параметров, вплоть до построения модели. Реализация данной задачи включает несколько этапов.

Результаты исследования. Проведённые исследования в зоне основного фор-

мирования селевого потока бассейна сая Теболай, позволяют сделать вывод о том, что производство противоселевых мероприятий целесообразнее перенести в зону основного транзита. Наиболее оптимальными для рассматриваемой территории, с учётом местного рельефа, является - селезадерживающие карьеры (селехранилища), используемые для задержания селевого потока в зоне транзита. Целевым назначением производства противоселевых мероприятий в зоне транзита и дополнительного питания селевых потоков является уменьшение объёма поступающего в русла рыхлообломочного материала. Предлагаются следующие способы и селесооружения: создание селезащитных карьеров; устройство селехранилищ в зоне формирования селевых потоков (рис. 5); создание каскада плотин из современных строительных материалов – гибкие противоселевые конструкции [5]. Определение наиболее опасных участков возможного селевого потока, используя программы ArcGIS и Google Earth Pro с указанием карьеров с размером 100х200 метров.

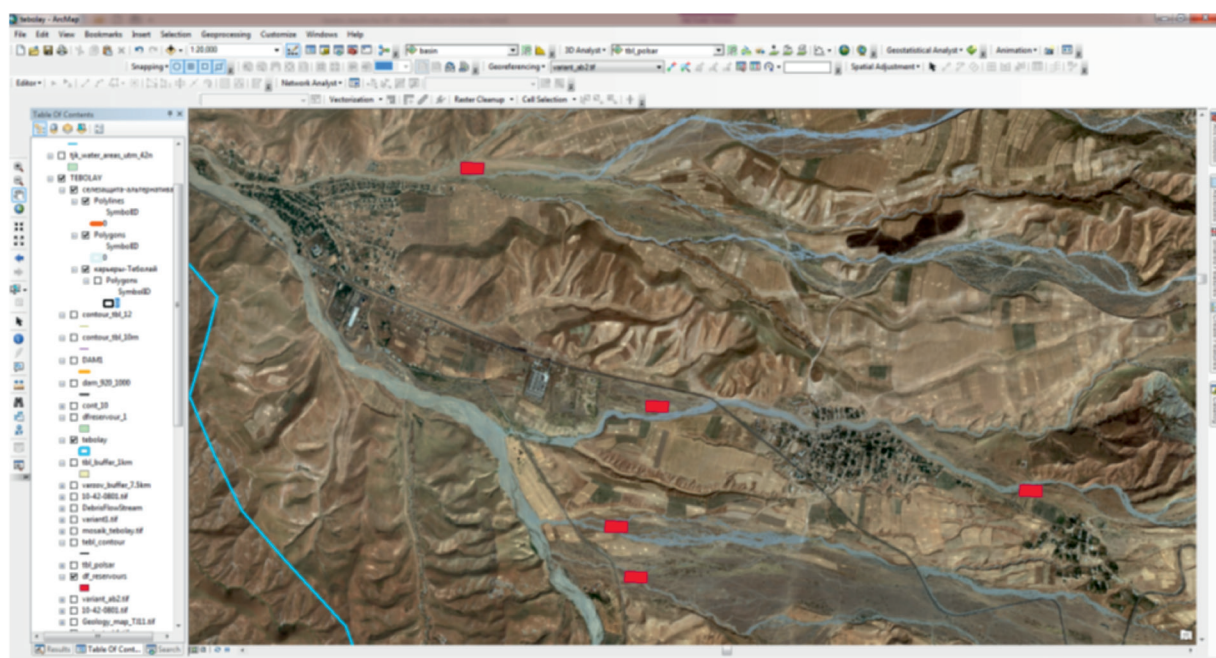


Рисунок 2. Расположение пяти карьеров (селехранилищ). ■ – селехранилища.

Используя данные Shuttle radar topographic mission (SRTM) строится цифровая модель рельефа (ЦМР) и проводятся горизонтали с требуемым интервалом. Используя инструмент ArcMAP 3D Analyst, строится профиль участка долины по поперечному и продольному

створам, позволяющим выполнить профилирование долины с целью определения высоты потока и глубины возможного селепаводкового потока относительно дна долины и угла уклона дна русла (рисунки 3,4,5).

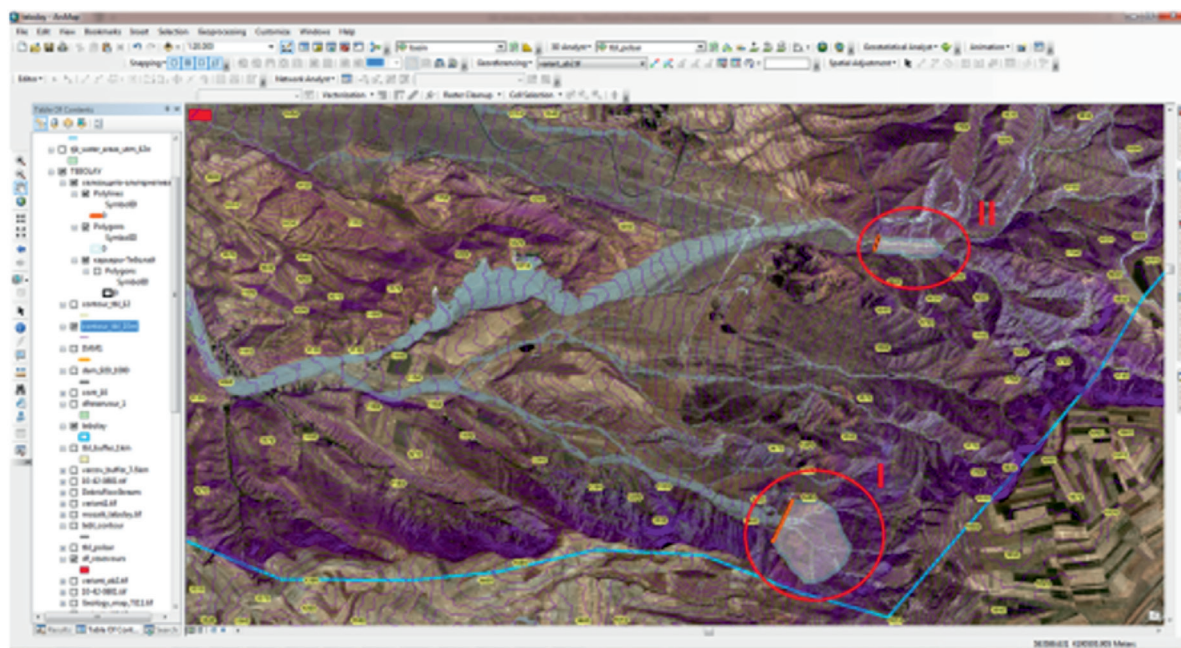


Рисунок 3. Карта-схема определения местоположения плотин. I-грунтовая плотина с селехранилищем; II-применение гибких конструкций для каскада и уменьшения разрушительных воздействий селевого потока.

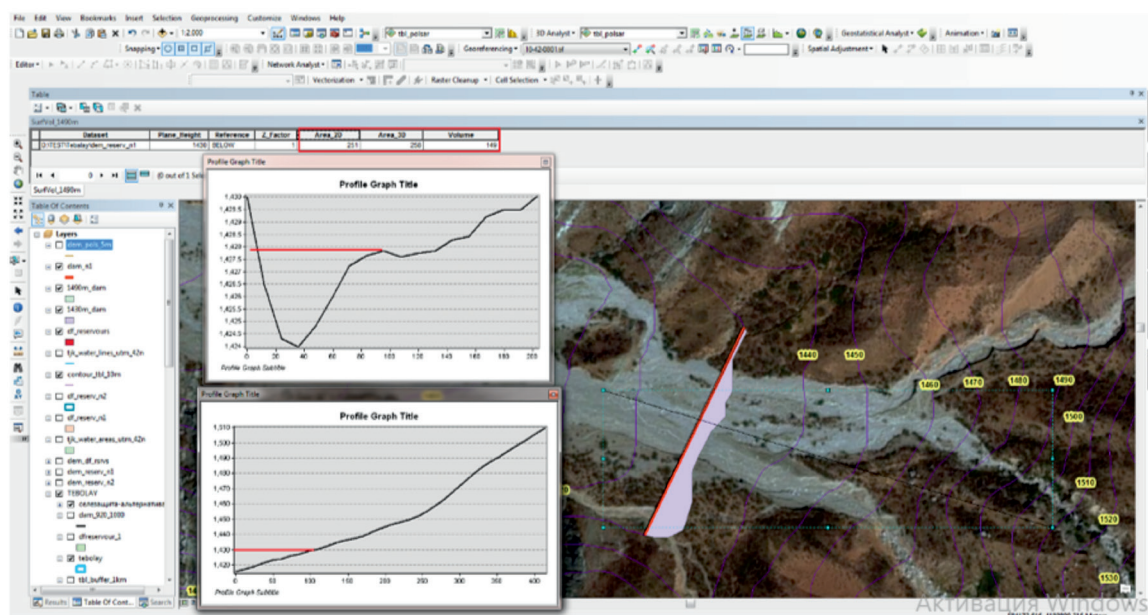


Рисунок 4. Продольный и поперечный профили и место установки плотины на пути движения селевого потока.

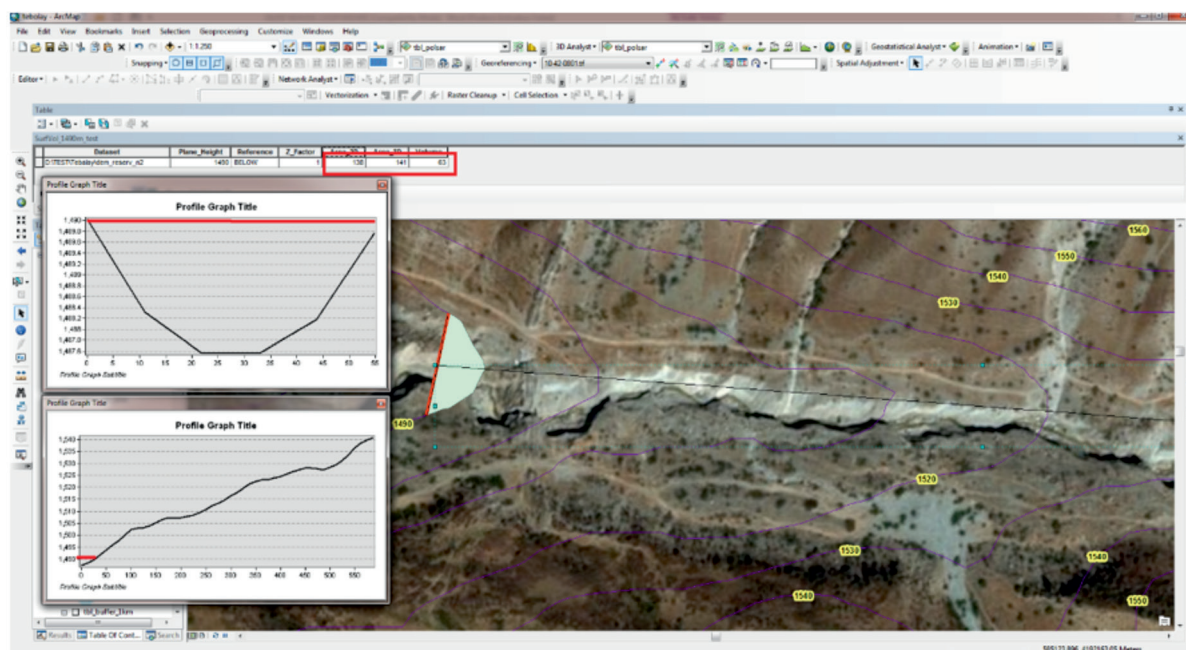


Рисунок 5. Продольный и поперечный профиль и место установки гибких конструкций для создания каскада плотин по трассе селевого потока.

Обсуждение. Таким образом, предложены несколько вариантов снижения и исключения вероятного ущерба от селевого потока: создание селехранилищ и устройство каскада плотин, возводимых как из традиционных, так и современных строительных материалов (гибкие конструкции). Применение предложенных технических решений основано на использовании пространственного анализа с применением ГИС технологий, позволяющих выявлять внутренние взаимосвязи и тенденции, практически не выявляемые существующими способами и инструментами. Основным выигрышным моментом является то, что электронные карты, созданные в ГИС, поддерживаются мощным арсеналом аналитических средств, богатым инструментарием создания и редактирования объектов, базами данных, средствами Интернета, космическими снимками. Применение современных технологий на основе ГИС позволяет производить прогнозирование и предупреждение различных видов ЧС, в том числе связанных с водой, расчёт степени потенциальной опасности и принятие решений

об оказании помощи, выбор, обоснование и пути применения защитных сооружений, расчёт оптимальных маршрутов движения к месту бедствия, оценка нанесённого ущерба и многое другое.

Выводы и рекомендации. Исследование показало, что основной причиной селевого потока в бассейне сая Тебалай стало скопление рыхлообломочного материала на склонах и в руслах, усугублённое обильными осадками. Глобальные климатические изменения способствуют дальнейшему накоплению твёрдых частиц в водотоке, что приводит к формированию водокаменных или грязекаменных селей.

В связи с этим, рекомендуется перенести противоселевые мероприятия в зону основного транзита бассейна Сая Тебалай. Целью этих мероприятий является сокращение объёма рыхлообломочного материала, поступающего в русла, посредством создания селезащитных карьеров и селехранилищ в зоне формирования, а также возведения каскада плотин из современных материалов, включая гибкие противоселевые конструкции.

Литература

1. Саидов М.С., Шомахмадов А.М., Саидов С.М. Создание системы раннего оповещения вдоль реки Тебалай // Научный журнал «Наука и Инновация» №2. – Душанбе, 2017. 43-47 с.
2. Национальная стратегия Республики Таджикистан на 2010-2015 годы. Душанбе, 2011. – 83 с.
3. Справочник по инженерной геологии. Под редакцией проф. Ф.П. Саваренского. М.-Л.: Государственное объединённое научно-техническое издательство. Редакция горно-топливной и геологоразведочной литературы, 1939. 340 с.
4. Ситуационный отчёт №2, 10 мая 2010// Команда быстрой оценки и координации при ЧС/Таджикистан. «Сели в Кулябе и соседних районах Хатлонской области»;
5. Заключение по результатам визуального инженерно-геологического обследования бассейна реки Тебалай// Информационно аналитический центр КЧС РТ. – Душанбе - 2011;
6. Гарби Бенюсеф. Адаптация методов ГИС-технологий для решения геолого-гидрологических задач на территории равнины Хемис Милиана в Алжире. – Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук. – Москва, 2011.
7. Волосухин В. А., Титоренко А. И. Проблемы селевой активности на горных реках Черноморского побережья// Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2011. №4. С. 103-106.

АРЗИШИ ХАВФИ СЕЛ ДАР ҲАВЗАИ СОИ ТЕБОЛАЙ

**Ниёзов Қ.Б.^{1,*}, Одиназода Т.Ш.², Мирзохонова С.О.^{3,1},
Саидзода С.М.⁴, Эшонкулова З.У.¹**

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

²Донишгоҳи давлатии Кулоб

³Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

⁴Муассисаи давлатии илмӣ «Маркази омӯзиши пирияхҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон»

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

Шарҳи мухтасар. Арзёбии хатари сел, идоракунии хавф ва кам кардани таъсири он барои беҳатарии минтақаҳои кӯҳӣ ва доманакӯҳҳо хеле муҳим аст. Минтақаҳо аз рӯи дараҷаи осебпазирии сел аҳамияти назариявӣ ва амалӣ дошта, имкон медиҳад, ки сатҳи хатари иншооти мавҷуда ва ба нақша гирифташуда баҳо дода шавад. Барои моделсозии ҳолати изтирорӣ, системаҳои иттилоотии ҷуғрофӣ (GIS) ва маълумот оид ба зондкунии фосилавии Замин (ЗФЗ) барои арзёбии хатар, таҳлили рушд ва пешгӯии оқибатҳои ҳодисаҳои хатарнок истифода мешаванд. Дар рафти тадқиқот вариантҳои кам кардани зиён аз сел пешниҳод карда шуданд: бунёди анборҳои сел ва сарбандҳо аз маводи анъанавию замонавӣ. Ин қарорҳо ба таҳлили геофазой бо истифода аз GIS асос ёфта, муносибатҳо ва таъсири ошкор мекунам, ки бо роҳҳои дигар ошкор кардан душвор аст. Ҷойгиршавии эҳтимолии ин иншооти гидротехникӣ бо назардошти омилҳои геологӣ, гидрологӣ ва иқтисодӣ муайян карда шуд. Ҷорӣ намудани GIS барои арзёбии хатари сел ва идоракунии хатарҳои марбут ба падидаҳои хатарнокии гидрологӣ самаранокии мониторинг ва пешгӯии ҳодисаҳои селро беҳтар намуда, банақшагирӣ ва татбиқи тадбирҳои коҳиши додани хатарро беҳтар мекунад.

Калидвожаҳо: хатари сел, ҳавзаи Тебалай сай, муҳофизат аз сел, ГИС ва ЭРС, ҳолати фавқулодда, таъмини амнияти аҳоли.

ASSESSMENT OF MUDFLOW HAZARD OF THE TEBOLAI SAYA BASIN

Niyazov J.B.^{1,*}, Odinazoda T.Sh.², Mirzokhonova S.O.^{3,1},
Saidzoda S.M.⁴, Eshankulova Z.U.¹

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

²Kulyab State University

³Tajik National University

⁴State Scientific Institution "Center for Glacier Studies of the National Academy of Sciences of Tajikistan"

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

Abstract. Mudflow hazard assessment, risk management and mitigation are essential for the safety of mountain and foothill areas. Territory zoning by mudflow vulnerability has theoretical and practical significance, allowing to assess the hazard level for existing and planned facilities. To model emergencies, geographic information systems (GIS) and Earth remote sensing (ERS) data are used to assess risk, analyze the development and predict the consequences of hazardous events. The conducted studies proposed options for reducing damage from mudflows: the creation of mudflow storage facilities and a cascade of dams from traditional and modern materials. These solutions are based on geospatial analysis using GIS, which reveals relationships and trends that are difficult to detect in other ways. Possible locations for these hydraulic structures were determined, taking into account geological, hydrological and socio-economic factors. The introduction of GIS for mudflow hazard assessment and risk management associated with hazardous hydrological phenomena will improve the efficiency of mudflow monitoring and forecasting and optimize the planning and implementation of risk reduction measures.

Key words: mudflow hazard, Tebalai river basin, mudflow protection, GIS and remote sensing, emergency situation, ensuring population safety.

Маълумоти муаллифон: Ниязов Чафар Баходурович – н.и.т., ходими пешбари илмии Лабораторияи моделкунони захираҳои об ва равандҳои иқлими Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ. E-mail: niyazovjafar@mail.ru; Одиназода Т.Ш. PhD — Донишгоҳи давлатии Кӯлоб (Тоҷикистон); Мирзохонзода Ситора Олтибой – н.и.т., дотсенти кафедраи метеорология ва климатологияи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, ходими калони илмии лабораторияи моделкунонии захираҳои об ва равандҳои иқлими Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ. E-mail: sitora.82@mail.ru; Саидзода Сӯхбатулло Мирзо – н.и.г., Муассисаи давлатии илмии «Маркази омӯзиши пирияхҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон»; Эшонкулова Заррина Ubaydullaevna - ходими илмии лабораторияи иншооти гидротехники Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ.

Сведение об авторах: Ниязов Джафар Баходурович – к.и.н. ведущий научный сотрудник лаборатории моделирование водных ресурсов и климатических процессов института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ. E-mail: niyazovjafar@mail.ru; Одиназода Т.Ш. PhD - Государственный Университет, г.Куляб (Таджикистан); Мирзохонзода Ситора Олтибой – к.т.н. доцент кафедры метеорологии и климатологии Таджикского национального университета, старший научный сотрудник лаборатории моделирование водных ресурсов и климатических процессов института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ. E-mail: sitora.82@mail.ru; Саидзода Сухбатулло Мирзо – к.г.м.н. Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана»; Эшанкулова Зарина Ubaydullaevna научный сотрудник лаборатории Гидротехнического сооружения института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ.

Information about the authors: Niyazov Jafar Bakhodurovich – candidate of sciences, Leading Researcher, Laboratory of Modeling of Water Resources and Climate Processes, Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology, NAST. E-mail: niyazovjafar@mail.ru; Odinazoda T.Sh., PhD - State University, Kulyab (Tajikistan); Mirzokhonova Sitora Oltiboy – candidate of technical sciences, Professor, Department of Meteorology and Climatology, Tajik National University, Senior Researcher, Laboratory of Modeling of Water Resources and Climate Processes, Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology, NAST. E-mail: sitora.82@mail.ru; Saidzoda Sukhbatullo Mirzo – PhD in Geological Sciences, State Scientific Institution "Center for the Study of Glaciers, National Academy of Sciences of Tajikistan"; Eshankulova Zarina Ubaydullaevna - Researcher, Laboratory of Hydraulic Structure, Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology, NAST.

УДК 550.42

ИЗОТОПНАЯ ГИДРОЛОГИЯ В ТАДЖИКИСТАНЕ И РОЛЬ МАГАТЭ В ЕЁ РАЗВИТИИ

Кодиров А.С.^{1,*}

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

*Автор корреспонденции. E-mail: as.kodirov@gmail.com

Аннотация. В статье представлены основные научные результаты, полученные в рамках проектов МАГАТЭ, включая следующие: TAD7001 — Использование изотопных технологий для оценки водных ресурсов и их гидрогеологического состояния (2012–2014); RER7013 — Оценка ресурсов подземных вод и взаимодействия подземных и поверхностных вод в контексте адаптации к изменению климата; RER7017 — Обеспечение доступности водных ресурсов в условиях изменяющегося климата (2024–2027). Кроме того, в статье освещаются результаты проекта CAISONET (Центрально-азиатская сеть изотопов в осадках, 2014–2017), спонсируемого министерствами образования и науки Германии. В исследовании рассматривается роль изотопной гидрологии в управлении и рациональном использовании водных ресурсов. Представлены как анализы, выполненные различными исследователями, так и собственные выводы авторов.

Ключевые слова: изотопная гидрология, проекты МАГАТЭ, водные ресурсы, изменение климата, кислород, водород, стабильные изотопы, реки, озёра, водохранилища.

Введение

В 2011 году, в ходе рабочей встречи академика НАНТ У.М. Мирсаидова с директором Института водных ресурсов, гидроэнергетики и экологии НАНТ, членом-корреспондентом НАНТ З.В. Кобули был поднят и обсуждён вопрос об использовании технологий изотопной гидрологии.

Впоследствии З.В. Кобули поручил старшему научному сотруднику А.С. Кодирову рассмотреть возможность подготовки проекта для представления в МАГАТЭ. При поддержке сотрудников Агентства ХБРЯ А.С. Кодиров разработал проект, который был направлен в МАГАТЭ в 2012 году.

Таким образом, в Республике Таджикистан началось применение технологий изотопной гидрологии. Изучение особенностей формирования гидрологических режимов рек с учётом климатических изменений и антропогенного вмешательства позволит осуществлять анализ и прогноз с обоснованием управления формированием, использованием и охраной водных ресурсов.

Такая задача актуальна и имеет большой научно-практический интерес, поскольку водные ресурсы, формирующиеся в Таджикистане, являются жизненно важным фактором развития Центрально-Азиатского региона и занимают особое место в экономике и решении социальных задач Республики Таджикистан.

Международные проекты и вклад МАГАТЭ.

- Проект TAD7001 (2012–2014). Проект был направлен на использование изотопных технологий для оценки состояния водных ресурсов и подземных вод в Таджикистане. Он стал первым этапом внедрения изотопных методов в национальные водные исследования.

- Проекты RER7013 и RER7017. Эти региональные проекты касаются оценки взаимодействия подземных и поверхностных вод, а также адаптации управления водными ресурсами к изменениям климата.

- Проект CAISONET (2014–2017). Проект «Центральноазиатская сеть изотопов в осадках» (CAISONET), финансируемый Германией, способствовал созданию сети

наблюдений за изотопным составом атмосферных осадков, особенно в высокогорных районах.

Теоретические основы изотопной гидрологии.

Для оценки формирования гидрологических режимов рек и принятия правильных решений по устойчивому управлению водными ресурсами необходимы научно-обоснованные меры.

В основном вода состоит из изотопов водорода и кислорода, которые сопровождают воды по всему гидрологическому циклу. Круговорот каждой капли воды приводит к различным (небольшим или крупным) изменениям в относительной распространённости разных изотопов. В разных природных средах вода формирует характерный изотопный показатель, который позволяет чётко её определить. Позволяет определить источники воды или оценить её возраст в гидрологической системе.

Изотопный метод даёт возможность определять происхождение, возраст и скорость восполнения запасов подземных вод, а также вероятность их загрязнения.

Также дают возможность составления карт подземных водных ресурсов, большинство из которых залегают в трансграничных водоносных горизонтах.

Изотопным методам изучают динамику поверхностных и подземных вод и их взаимодействие, протечки в плотинах и последствия изменения климата для освоения и хозяйственного использования водных ресурсов [10].

По изотопному составу воды определяется процент содержания молекул с различной изотопной массой в воде. Содержание воды, состоящей из лёгких стабильных изотопов 1H_2 ^{16}O «лёгкая вода» в природной воде составляет 99,73 - 99,76 мол.%, остальная часть состоит из тяжёлого изотопа водорода 2H «тяжёлая вода».

Всем известно, что молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода.

Водород имеет два стабильных изотопа - протий (H) - 1H и дейтерий (D) - 2H .

У кислорода три устойчивых изотопа: ^{16}O , ^{17}O и ^{18}O (табл. 1) [1, 11].

Таблица 1. Изотопы воды.

Элемент	Водород		Кислород		
Изотоп	H	D	^{16}O	^{17}O	^{18}O
Количество протонов в ядре	1	1	8	8	8
Количество нейтронов в ядре	0	1	8	9	10
Атомная масса	1	2	16	17	18

На каждом уровне гидрологического цикла происходит небольшое изменение, которое проявляется в виде различия концентрации изотопов водорода и кислорода в воде, являющейся такой же уникальной, как и отпечаток пальца [14].

При испарении воды из океанов и морей более тяжёлые изотопы конденсируются первыми и выпадают в виде дождя раньше, чем более лёгкие изотопы [14]. Основная масса водяных испарений в атмосфере образуется над океанами. Так

как Таджикистан находится далеко от побережья, здесь падают дожди с содержанием лёгких изотопов.

Одной из задач изотопного метода является определение возраста льда или снега, что может помочь определить климатические условия в прошлые годы. Высокая глобальная температура даёт больше энергии, и это, следовательно, приводит к увеличению атмосферных осадков ^{18}O , в то время как показатели ^{18}O в грунтовых водах обычно уменьшаются.

Вода или лёд представляют собой источник испарения во время более холодных климатических эпох или даже ледниковых периодов [6].

Другими секторами применения являются притоки подземных вод и зона водосбора (то есть метод разделения гидрографа в подземных водах). Поскольку при каждом (жидком или твёрдом) осадки имеют определенные изотопные показатели (показатели подземных вод также могут быть идентифицированы путём отбора проб скважины) составные показатели в потоке являются индикатором того, какая доля потока происходит в данный момент времени из поверхностного потока и, какая доля поступает из подземного потока [4].

Применение изотопных методов в Таджикистане.

Стабильные изотопы в молекуле воды также могут быть полезными для отслеживания источников (или доли источников) воды, которой питаются растения [2, 3].

Оценка по углероду-14 впервые была применена в 1962 года при измерении возраста подземных вод. Метод углерода-14 более труден в связи с тем, что углерод не является частью молекулы вода, в применении. Углерод встречается в грунтовых водах в растворённых неорганических соединениях углерода, химические реакции в основном стремятся к разбавлению углерод-14 и в связи с этим, во время исследований дают большой возраст. Необходимо отметить, что, используя данные и свойства по углероду-14 (стабильные изотопы углерода) можно поправить для получения надёжных оценок времени подпитки воды.

Проводятся исследования касательно возможности создания базы данных подземных вод также по другим радиоактивным изотопам: кремнию-32, хлору-36 и аргону-39, однако углерод-14 остается

самым полезным стандартным гидрологическим показателем [12].

Инфильтрация осадков (проникновение воды с поверхности земли в толщу горных пород) – не является единственным источником структуры подземных вод, в свою очередь источником подземных вод также являются разные расходы на определённом участке русла реки и по составу уровня подземных вод вблизи реки. В связи с этим ни один из традиционных гидрологических методов не даёт достаточных оценок действительного перемещения воды из реки в структуру подземных вод. Изотопная гидрология представляет собой уникальное средство для ответа на этот вопрос. Каждая часть воды формирующихся крупных рек поступает из разных источников (например, из более высоких зон), если вода поступает из высоких зон, то вода будет содержать меньше тяжёлых изотопов (D_2 и ^{18}O) чем от других дождей. В связи с этим, каждый источник воды характеризуется различными свойствами и составом, поэтому можно с лёгкостью определить речной сток воды в подземных водах [9].

История изотопной гидрологии тесно связана с задачами Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). В связи с этим, первые крупные исследования с помощью изотопной гидрологии были проведены в разных уголках мира в рамках поддержки МАГАТЭ.

В первые годы МАГАТЭ проводило исследования в Эквадоре, Мексике, Южной Корее, Судане и т.д., например исследования в Судане проводились вблизи Хартума, в месте слияния Голубого и Белого Нила [12]. Исследования показали, что каждый приток (крупные) по соотношению изотопного состава заметно отличался друг от друга.

Анализы по углероду-14 показали, что подземные воды, приходящие в данный район с востока, возникли несколько де-

сятков тысяч лет тому назад и являлись не обновляемыми источниками.

Анализы промышленных районов Сеула также показали, что существует большая разница между поверхностными и подземными источниками.

Метод изотопной гидрологии также можно использовать для оценки площадей захоронения радиоактивных отходов (с целью определения притоков подземных вод и их устьев), исследования геотермальных вод и исследования загрязнения рек от сельскохозяйственных площадок.

Исследования талого стока р. Джанкуат [8] в течение двух сезонов абляции 2013 и 2014 гг. показали, что в течение сезона абляции 2013 г. за период с середины июня по начало сентября выпало 222 мм осадков. В 2013 г. было получено лишь два значения $\delta^{18}\text{O}$ атмосферных осадков: в дожде 12 июня $\delta^{18}\text{O} = -8,85\text{‰}$, в мокром свежеснеге 20-21 июня $\delta^{18}\text{O} = -9,9\text{‰}$, а $\delta\text{D} = -54,2\text{‰}$. В 2014 г. с июня по сентябрь выпало 496 мм осадков, пробы отбирались при каждом событии выпадения осадков, при превышении слоя 0,5 мм. Значения $\delta^{18}\text{O}$ в дожде варьируют от 0,8 до $-10,9\text{‰}$, δD – от 19 до -70‰ . Экстремально положительный состав дождя 23 августа, в котором $\delta^{18}\text{O} = 0,8$ и $\delta\text{D} = 19$, скорее всего, связан с приходом на Кавказ воздушных масс с Ближнего Востока.

Можно отметить, что раз в 2–3 года, а иногда и чаще, выпадает дождь с изотопным составом $\delta^{18}\text{O} \sim 0\text{‰}$ [9]. Соотношение $\delta^{18}\text{O}$ – δD в атмосферных осадках 2014 г. описывается уравнением $\delta\text{D} = 8,22 \delta^{18}\text{O} + 17,42$, что характеризует локальную линию метеорных вод этого района и находится очень близко к Глобальной линии метеорных вод (ГЛМВ).

Выполненное в настоящем исследовании расчленение гидрографа для отдельных месяцев вносит большой вклад в развитие методики решения подобных систем уравнений. В отечественной практике немного схожих работ, дающих по-

зитивные результаты. Один из удачных примеров использования изотопных исследований – комплексный генетический анализ источников питания, проведённый для Токтогульского водохранилища на р. Нарын (Киргизия) [13]. В основе этой работы – данные о содержании ^{18}O и D в водах различного происхождения и в воде водохранилища.

На р. Нарын имеет место заметное внутригодовое перераспределение стока за счёт взаимодействия поверхностных и подземных вод. В весеннее время происходит поглощение талых снеговых и дождевых вод рыхлыми отложениями, заполняющими речные долины. Аналогичные процессы, скорее всего, характерны и для р. Джанкуат, что во многом подтверждается полученными данными об изменении изотопного состава.

Интересный факт в том, что доля талых ледниковых вод в стоке р. Нарын в районе Токтогульского водохранилища (нижнее течение), по результатам расчленения гидрографа на основе изотопных данных, составила $\leq 10\%$.

В 2013 авторами были опубликованы свои результаты [15] в материалах Четвёртой международной конференции в Томске. Исследования бассейна реки Кызыл-Суу показали, что опробованные воды укладываются в треугольник, вершинами которого могут служить соотношения изотопов в основных источниках питания исследованных вод:

1. Ледниковые воды с минимальным содержанием урана (не более $0,5\text{--}0,6 \times 10^{-6}$ г/л);
2. Воды коренных пород с наибольшими изотопными сдвигами ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = 2,7$);
3. Воды, циркулирующие в зоне активного водообмена в разрушенных отложениях верхнего четвертичного горизонта с равновесным соотношением изотопов урана и повышенным его общим содержанием.

Основные ионы и стабильные изотопы (δD и $\delta^{18}O$) были измерены в пробах поверхностных вод, собранных в Таджикистане с сентября по октябрь 2011 года (рис. 1) [5]. Образцы для изотопного анализа собирали во флаконы по 20 мл. Бутылки были заполнены полностью, чтобы предотвратить контакт с воздухом, пока они не были открыты для анализа в лаборатории.

Были различия в δD и $\delta^{18}O$ среди проб воды (речной, родниковой и озёрной воды) из разных частей Таджикистана. Чтобы оценить это пространственное отклонение, авторы разделили образцы на две группы на основе топографии участ-

ков отбора проб. К западу от $\sim 70,5^\circ$ в.д., области, характеризующейся равнинами и низкой горной топографией, высота над уровнем моря была < 2000 м над уровнем моря. К востоку от $\sim 70,5^\circ$ в.д. находятся высокогорные и ледниковые районы, и места отбора проб в основном находились в интервале 2000–4000 м.д. В низменном западном Таджикистане δD и $\delta^{18}O$ речных и родниковых вод ($-75 \pm 7,9\text{‰}$ и $-11 \pm 1,0\text{‰}$ для речной воды, и $-75 \pm 11\text{‰}$ и $-11 \pm 1,3\text{‰}$ для родниковой воды соответственно) были выше, чем в образцах из восточного Таджикистана ($-15 \pm 7,8\text{‰}$ и $-15 \pm 0,8\text{‰}$ для речных образцов, и $-117 \pm 11\text{‰}$ и $-16 \pm 1,3\text{‰}$ для весенних образцов, соответственно).



Рисунок 1. Зона отбора проб.

Однако для озёрных вод значения δD и $\delta^{18}O$ демонстрируют противоположную тенденцию: δD и $\delta^{18}O$ в восточных озерах ($-49 \pm 9,3\text{‰}$ и $-3,6 \pm 1,6$ соответственно) несколько превышают значения в западных озерах ($-76 \pm 4,2\text{‰}$ и $-11 \pm 0,2\text{‰}$ соответственно). В целом, значения δD и $\delta^{18}O$ в речной и родниковой воде постепенно увеличивались

с востока на запад, возможно, из-за различий в водоснабжении. Незначительное снижение δD и $\delta^{18}O$ в озёрных водах с востока на запад отражает в основном интенсивность испарения.

Взаимосвязь между стабильными изотопами и основными концентрациями ионов указывает на то, что речные и родниковые

воды в Таджикистане связаны между собой, причём наибольшее влияние на речные и родниковые воды в западном Таджикистане оказывают осадки, а талая вода ледников / снега обеспечивает большую часть воды для рек и родников на востоке. Ca^{2+} - Mg^{2+} - HCO_3^- является доминирующим гидрохимическим типом фаций как для рек, так и для источников, что позволяет предположить, что карбонатные породы в бассейнах контролируют гидрохимию. Значения изотопов водорода и кислорода и их корреляция с гидрохимическими переменными озёрной воды отражают интенсивность испарения. Отрицательные значения избытка дейтерия и более высокие значения TDS в водах восточного озера показывают более сильное испарение в засушливых климатических условиях с преобладанием гидрохимической фации типа Na^+ - Cl-SO_4^{42-} , а также с высокой солёностью, которая отражает возможное растворение галита (NaCl) и затемардита (Na_2SO_4).

Водосбор реки Гунт на Центральном Памире является одним из притоков водосбора бассейна Аральского моря. Он охватывает 14000 км, простираясь на высоту от 2000 до 6700 м над уровнем моря. В сети мониторинга пробы воды отбирались каждый месяц в 30 точках отбора проб и анализировались на наличие стабильных изотопов воды ^{18}O и ^2H . Результаты показывают [1] значения $\delta^2\text{H}$ в диапазоне от -131,2 до -94,9 ‰ и значения $\delta^{18}\text{O}$ от -18,0 до -14,0 ‰. Схемы стабильных изотопов в водосборном бассейне, кажется, следуют систематическим образом, в котором преобладает высотный эффект со средним $\Delta \delta^2\text{H} = -3,6 \text{ ‰} / 100 \text{ м}$. Наблюдаемые сезонные колебания могут быть объяснены географическими аспектами, такими как влияние различных ветровых систем, а также процессы таяния.

Нами были проведены отборы образцов в территории Гиссарской долины– верхней части бассейна реки Кафирниган. С севера долины с запада на восток протянулся Гиссарский хребет. Имеются участки неоге-

на, включающего песчаник, конгломераты, гипс. С северного склона хребта на юг стекает река Варзоб, вода которой поступает в два северных водозабора: Бассейн суточного регулирования (БСР) и Самотечная станция (СС) города Душанбе. Сливаясь с рекой Лучоб, река уже называется Душанбинка и протекает через весь город с севера на юг, где впадает в реку Кафирниган.

Вдоль южной части города Душанбе протекает река Кафирниган, в которую впадают многочисленные притоки, стекающие с Гиссарского хребта. Город Душанбе расположен в долине между рекой Кафирниган и северными склонами Гиссарского хребта. Поэтому водозабор Кафирниганская насосная станция (КНС) использует подземные воды водоносных горизонтов северного берега реки Кафирниган. Вода поступает из скважин глубиной 80-160 м. На юго-западе города имеется четвёртый водозабор Юго-западный водозабор (ЮЗВ), скважины которого поднимают воду с глубины 30 м. Кроме того имеются отдельные скважины, обеспечивающие водой поселения, окружающие город.

Список точек отбора проб на бассейне реки Кафирниган и его географические координаты виды водного объекта приведены в таблице 2 и показаны на рисунке 2. Особое внимание было уделено на режим подземных и поверхностных вод и их распределение и испарение.

Образцы были анализированы в лазерном изотопном анализаторе PICARRO-L-2110-i, который был получен в рамках проекта TAD-7001 при поддержке МАГАТЭ. Нами был проведён анализ стабильных изотопов $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в составе воды, также был проведён химический анализ на содержание ионов и тяжёлых металлов, который был выполнен в Национальном энергетическом центре наук и ядерных технологий Королевства Марокко.

Таблица 2. Географические координаты исследуемой территории.

№	Место отбора проб	Вид водного объекта	Глубина, м	Координаты		Высота н.у.м.
				Широта	Долгота	
	Кафирниган	Река	-	38° 31' 27»	68° 50' 16»	741
	КНС, Скв. №	Скважина	120	38° 31' 41»	68° 50' 49»	758
	КНС, Скв. №	Скважина	120	38° 31' 37»	68° 50' 8»	751
	Джангалобод	Скважина	50	38° 32' 58»	68° 54' 37»	800
	Ходжабайкул	Скважина	56	38° 32' 58»	68° 54' 37»	846
	ЮЗВ, №1	Скважина	100-130	38° 31' 4»	68° 42' 50»	748
	ЮЗВ, №2	Скважина	100-130	38° 31' 12»	68° 43' 4»	745
	ЮЗВ, №3	Скважина	100-130	38° 31' 20»	68° 43' 15»	743
	Чоряккорон	Скважина	160	38° 34' 1»	68° 41' 38»	817
	БСР	Бассейн	-	38° 37' 1»	68° 46' 88»	884
	СС	Бассейн	-	38° 35' 75»	68° 46' 73»	763

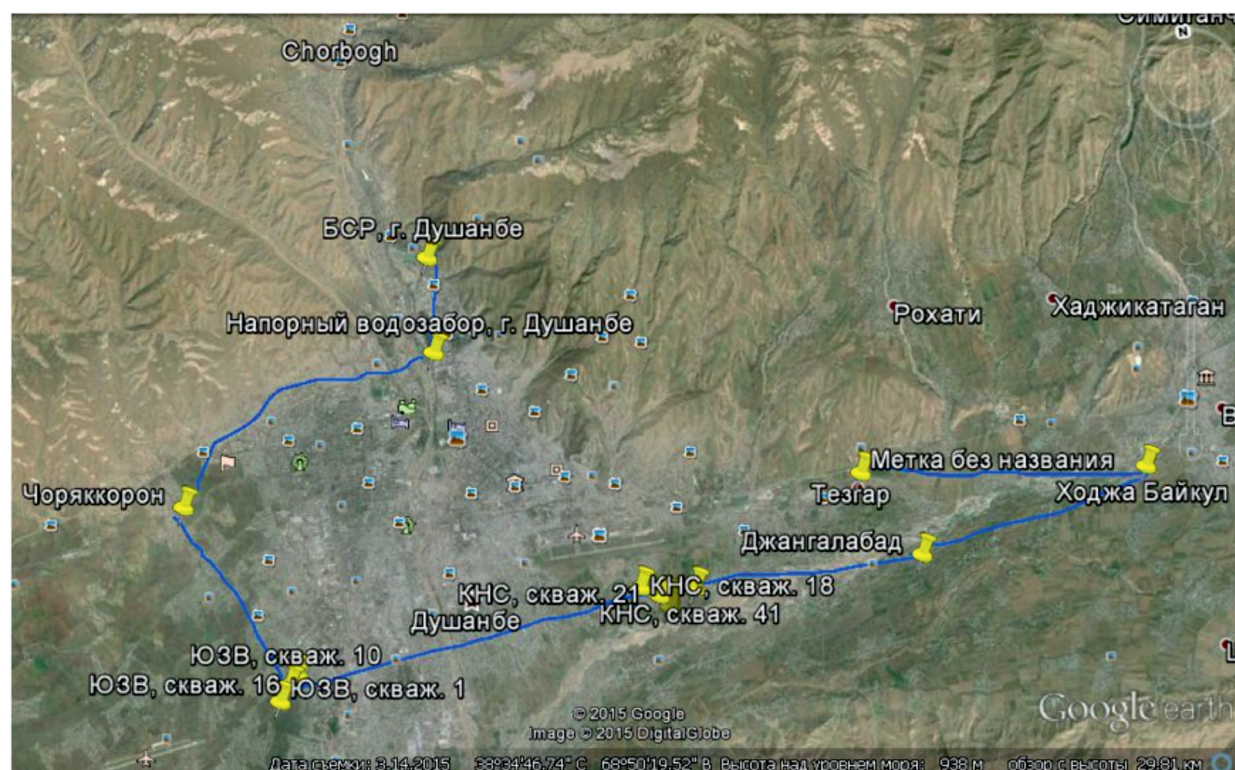


Рисунок 2. Точки исследуемой территории.

На графике Крейга (рис. 4) большинство значений $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$ располагаются выше Глобальной линии метеорных вод, при среднем значении d-избытка 18,8 ‰. Это свидетельствует о крайне холодных климатических условиях и/или о повторном испарении метеорных вод.

В качестве первичного подхода происхождение воздушных масс, обусловивших

два основных эпизода осадков в феврале и июне 2018 года, было прослежено с использованием модели HYSPLIT4 NOAA (рис. 5).

Однако установить точное происхождение осадков не удалось, поскольку возможные источники, такие как Атлантический океан, Средиземное море и Каспийское море, по-прежнему остаются предметом рассмотрения.

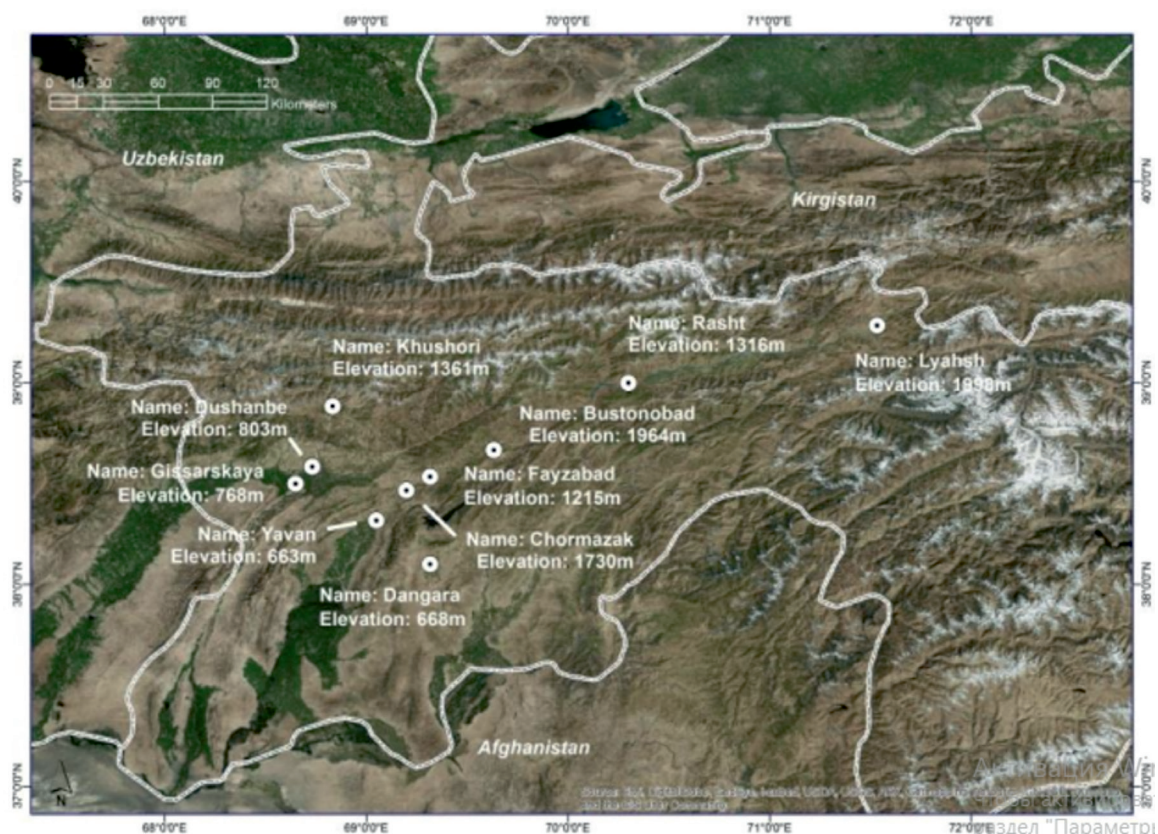


Рисунок 3. Расположение сети пунктов отбора проб и высоты соответствующих станций на территории Таджикистана.

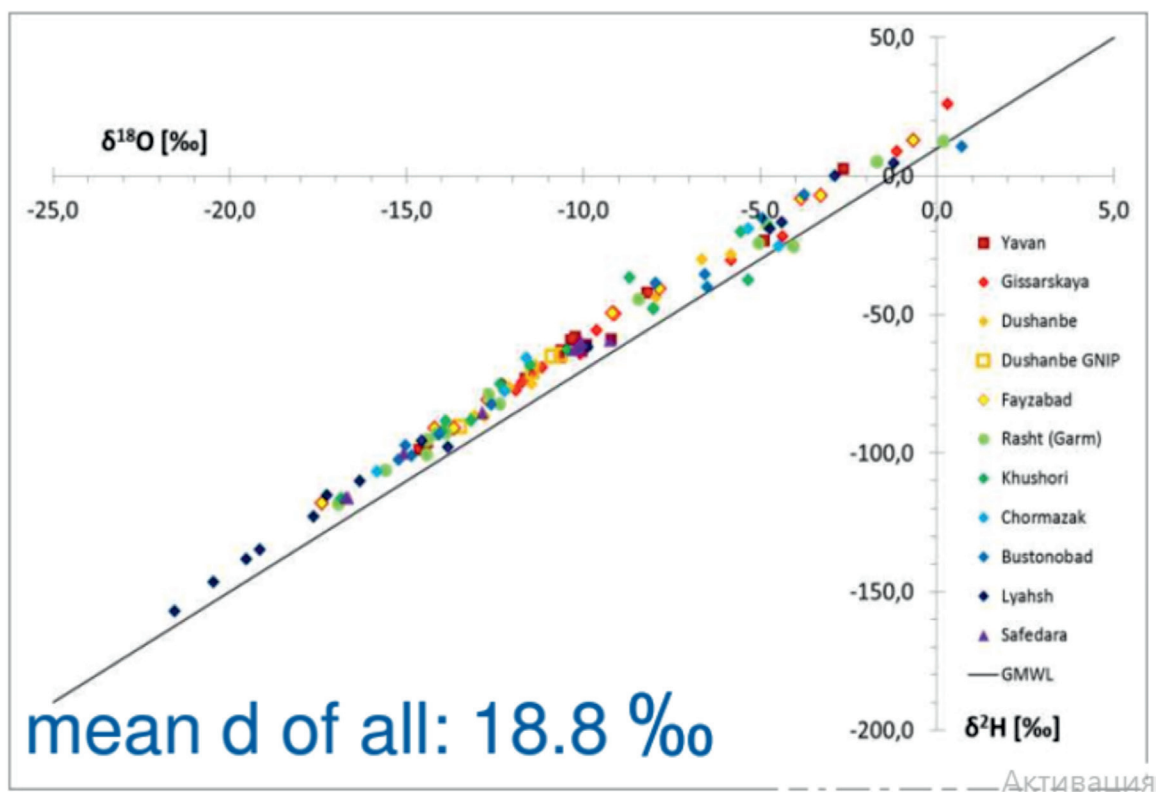


Рисунок 4. График Крейга по значениям $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в образцах осадков за период с декабря 2017 по март 2019 года.

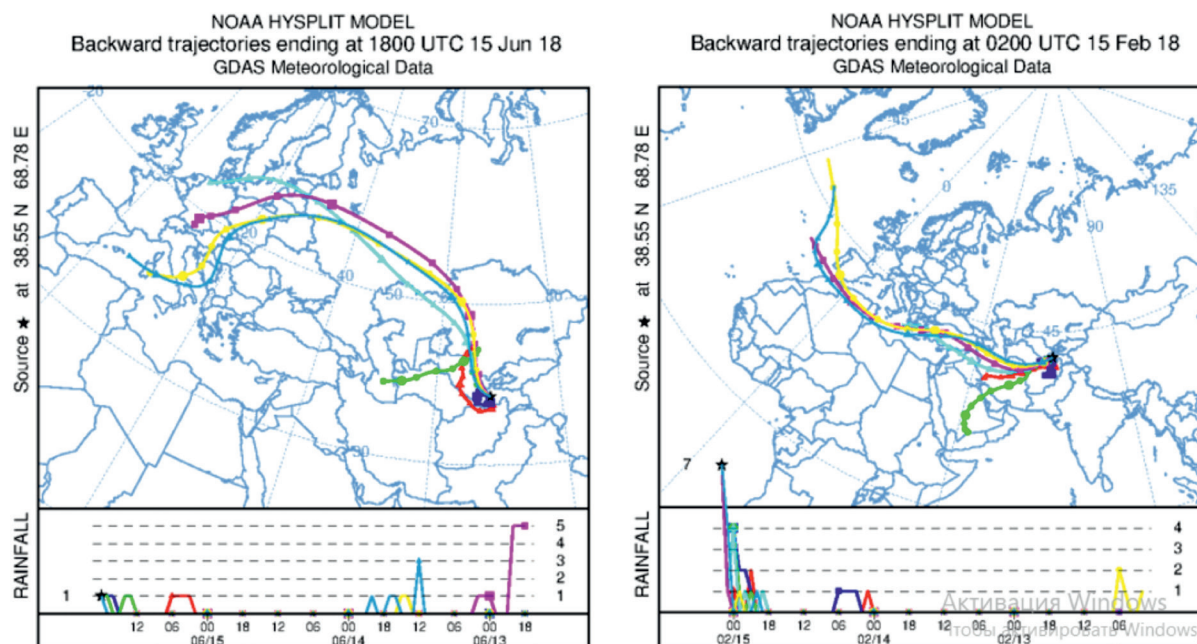


Рисунок 4. Обратное трассирование воздушных масс для двух эпизодов осадков в Душанбе в 2018 году, выполненное с использованием модели HYSPLIT4.

Выводы

Применение изотопных методов в гидрологических исследованиях Таджикистана, при поддержке МАГАТЭ и международных партнёров, стало важным этапом в развитии современной водной науки страны. Впервые были созданы предпосылки для системного изучения происхождения, возраста и динамики водных ресурсов, что особенно актуально в условиях усиливающихся климатических изменений и растущей водной нагрузки на экосистемы.

Результаты реализации проектов TAD7001, RER7013, RER7017 и CAISONET продемонстрировали высокую эффективность изотопных технологий в таких направлениях, как:

- идентификация источников питания рек и подземных вод,
- оценка взаимодействия между поверхностными и подземными водами,
- определение возраста и скорости обновления водных масс,
- картирование изотопной структуры атмосферных осадков.

Особо следует подчеркнуть роль МАГАТЭ в создании научной и технической базы для изотопной гидрологии в Таджикистане. Благодаря предоставленному оборудованию, подготовке специалистов и поддержке исследований, страна смогла сделать важный шаг к более глубокой и точной оценке своих водных ресурсов.

Изотопная гидрология в Таджикистане доказала свою научную состоятельность и практическую значимость, открывая новые перспективы для водной безопасности, устойчивого управления ресурсами и адаптации к изменениям климата. Дальнейшее развитие этого направления требует междисциплинарного подхода, расширения наблюдательной сети и интеграции изотопных данных в национальные водохозяйственные стратегии.

Литература

1. Christiane M., Malte K. et al. Stable isotopes in river waters in the Tajik Pamirs: regional and temporal characteristics // *Isotopes in Environmental and Health Studies* 49(4): 542-54. 2013. https://www.researchgate.net/publication/259210116_Stable_isotopes_in_river_waters_in_the_Tajik_Pamirs_regional_and_temporal_characteristics.

2. Evaristo J., Jasechko S., McDonnell J.J. Global separation of plant transpiration from groundwater and streamflow // *Nature*. 525(7567): 91–94. DOI: 10.1038/nature14983. PMID 26333467.
3. Good S.P., Noone D., Bowen G. Hydrologic connectivity constrains partitioning of global terrestrial water fluxes // *Science*. 349 (6244): 175–177. DOI: 10.1126/science.aaa5931. ISSN 0036-8075. PMID 26160944.
4. Kendall M., McDonnell J.J. *Isotope Tracers in Catchment Hydrology* // Elsevier. 1998.
5. Li Q., Wu J. Stable isotopes (dD & d18O) and major ion chemistry of surface waters in Tajikistan, arid Central Asia // *European Water* 58: 229-235, 2017. © 2017 E.W. Publications. 7 pages.
6. Masters G.P. *Global Atmospheric Change* // Chapter in: *Introduction to Environmental Engineering and Science*. 3rd ed. Prentice Hall. 2008.
7. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К. Изотопные методы в географии. Ч.1. Геохимия стабильных изотопов природных льдов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2011. 228 с.
8. Васильчук Ю.К., Рец Е.П. и др. Расчленение гидрографа реки Джанкуат, Центральный Кавказ, с помощью изотопных методов // *Водные ресурсы*, 2016, том 43, № 6, С. 579–594.
9. Гонфьянтини Р. Изыскание водных ресурсов в пустыне // *Бюллетен МАГАТЭ*. Том 23, №1, С. 3-6.
10. Изотопная гидрология: изучение // *Бюллетень МАГАТЭ* 54-4-Декабрь 2013. Режим доступа: https://www.iaea.org/sites/default/files/54401211415_ru.pdf.
11. Изотопный состав воды // Материал из Википедии - свободной энциклопедии. Дата обращения: 12.11.2017г., Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Изотопный_состав_воды.
12. Пейн Б.Р. Методы изотопной гидрологии - практическое решение водных проблем // *Бюллетень МАГАТЭ*, Том 24, №3, С. 9-12.
13. Токарев И.В., Поляков В.А. Исследование условий формирования водного баланса Токтогульского водохранилища по изотопному составу воды (D2H, D18O) // Проект МНТЦ КР-1430, 2007–2010). Бишкек, 2010. С. 56–84.
14. Управление водными ресурсами с использованием изотопной гидрологии // *МАГАТЭ* Дата обращения: 12.11.2017г., Режим доступа: https://www.iaea.org/sites/default/files/water_rus.pdf.
15. Шатравин В.И., Тузова Т.В., Сатыбалдиев Б.С., Уралбеков Б.М. Изотопы урана в водах Алайской Долины // Материалы IV Международной конференции, г. Томск, 4-8 июня 2013 г., С. 566-570.

ГИДРОЛОГИЯ И ИЗОТОПЫ ДАР ТОҶИКИСТОН ВА НАҚШИ МАГАТЭ ДАР РУШДИ ОН

Кодиров А.С.^{1,*}

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

*Муаллифи масъул. E-mail: as.kodirov@gmail.com

Шарҳи мухтасар. Дар мақола натиҷаҳои асосии илмие, ки дар доираи лоиҳаҳои АБНА, аз ҷумла: TAD7001 - Истифодаи технологияҳои изотопӣ барои арзёбии захираҳои об ва арзёбии ҳолати гидрогеологии онҳо (2012–2014); RER7013 - Арзёбии захираҳои обҳои зеризаминӣ ва таъсири мутақобилаи обҳои зеризаминӣ бо обҳои рӯизаминӣ дар манзари мутабиқшавӣ ба тағирёбии иқлим ва RER7017 - Таъмини дастрасӣ ба об дар шароити тағирёбии иқлим (2024–2027) ба даст оварда шудаанд, баррасӣ гардидааст. Илова бар ин, мақола натиҷаҳои лоиҳаи CAISONET (шабакаи Осиеи Марказӣ оид ба изотопҳо дар боришот, 2014–2017), ки аз ҷониби вазоратҳои маориф ва илми Олмон сарпарастӣ шудааст, баррасӣ шудааст. Таҳқиқот нақши гидрологияи изотопиро дар идоракунии ва истифодаи захираҳои об арзёбӣ мекунад. Дар он таҳлили муаллифони соҳа ва бозёфтҳои ҳуди муаллифон оварда шудааст.

Калидвожаҳо: гидрологияи изотопӣ, лоиҳаҳои МАГАТЭ, об, иқлим, оксиген, гидроген, изотопҳои устувор, дарё, кӯл, обанбор.

ISOTOPE HYDROLOGY IN TAJIKISTAN AND THE ROLE OF THE IAEA IN ITS DEVELOPMENT

Kodirov A.S.^{1,*}

¹Institute of water problems, hydropower and ecology of the National academy of sciences of Tajikistan

*Corresponding author. E-mail: as.kodirov@gmail.com

Abstract. This article presents the main scientific results obtained within the framework of IAEA projects, including: TAD7001 - Using isotope technologies to assess water resources and evaluate their hydrogeological condition (2012–2014); RER7013 - Evaluating groundwater resources and groundwater–surface water interactions in the context of adapting to climate change, and RER7017 - Ensuring water availability in a changing climate (2024–2027). Additionally, the article highlights the results of the CAISONET project (Central Asian network of isotopes in precipitation, 2014–2017), sponsored by the German Ministries of education and science. The research investigates the role of isotope hydrology in the management and use of water resources. It presents both the analyses of prominent authors and the authors' own findings.

Keywords: isotopic hydrology, IAEA projects, water, climate, oxygen, hydrogen, stable isotopes, river, lake, reservoir.

Сведение об авторе. Кодиров Анвар Саидкулович - доктор технических наук, старший научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана. E-mail: as.kodirov@gmail.com.

Маълумот оид ба муаллиф. Кодиров Анвар Саидкулович - доктори илмҳои техники, ходими калони илмии Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. E-mail: as.kodirov@gmail.com.

Information about the author. Kodirov Anvar Saidkulovich - Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher of the Institute of water problems, hydropower and ecology of the National academy of sciences of Tajikistan. E-mail: as.kodirov@gmail.com.

УДК 551.324

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАЛЫХ ЛЕДНИКОВ БАССЕЙНА ОЗЕРА КАРАКУЛЬ: ИССЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКА

Кабутов Х.К.^{1,*}

¹ Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников» Национальной академии наук Таджикистана

*Автор-корреспондент. E-mail: kabutov.khusrav@gmail.com

Аннотация. Малые ледники, определяемые, как ледники площадью менее 0,1 км², играют важную роль в гидрологическом балансе горных территорий и служат индикаторами изменения климата. Методы дистанционного зондирования представляют собой современный и актуальный подход к их изучению. Анализ данных за период с 1994 по 2018 год выявил, что число малых ледников сократилось с 254 до 198, что соответствует уменьшению на 22%. Общая площадь ледников за этот же период сократилась с 13 км² до 9 км² (31%). Проведение систематического мониторинга ледников и исследование факторов, способствующих их деградации, позволяет глубже понять масштабы и последствия изменения климата на локальном и глобальном уровне. Настоящее исследование вносит значительный вклад в изучение динамики малых ледников, подтверждая высокую эффективность использования данных дистанционного зондирования для анализа и отслеживания изменений ледниковых систем.

Ключевые слова: Малые ледники, Восточный Памир, мониторинг ледников, ДЗЗ, инвентаризация ледников.

Введение

Малыми ледниками принято называть объекты размером менее 0,1 км² и они бо-

лее чутко реагируют на изменение климата [1].

Исследования малых форм оледенения поднимает вопрос о четком разделении многолетних снежников и ледников малых форм. Учеными приводятся различные интерпретации, основанные на собственных исследованиях за малыми формами оледенения в различных регионах. В работе Сарана В. А. предложена новая трактовка в терминологии малых форм оледенения и их отличия от многолетних снежников. Одним из важнейших факторов для эволюционной гляциологии является то, что выявлено на регрессивной стадии малых форм оледенения отмирающих (остаточных) и нарождающихся (эмбриональных) [2].

В природе встречаются множества форм оледенения, некоторые залегают ниже снеговой линии а некоторые могут залежать выше снеговой линии. Малые формы оледенения также могут быть остаточными или эмбриональными образованиями и такие отличия не всегда позволяют объединять малые формы оледенения в одну общую категорию. Так как малые формы оледенения наиболее бы-

стро реагируют на климатические изменения, их изучения является важным для определения степени влияния изменения климата на ледниковые системы [3].

Одним из важных особенностей при определении малых форм оледенения - это правильное разделение их между многолетними снежниками и малыми ледниками, так как это влияет на климатические и гидрологические сценарии при оценке климата и экосистем [4].

Э. Ю. Осипов в своих исследованиях применяя методы дистанционного зондирования с использованием спутниковых снимков Landsat и радарных снимков SRTM подтвердила актуальность использования этих данных для статистических анализов характеристик ледников [5].

Исходя из выше указанного применение методов дистанционного зондирования для анализа ледников является актуальным методом, который позволяет определить не только современное состояние ледников, но и отслеживать их динамику на протяжении десятков лет [6, 7].

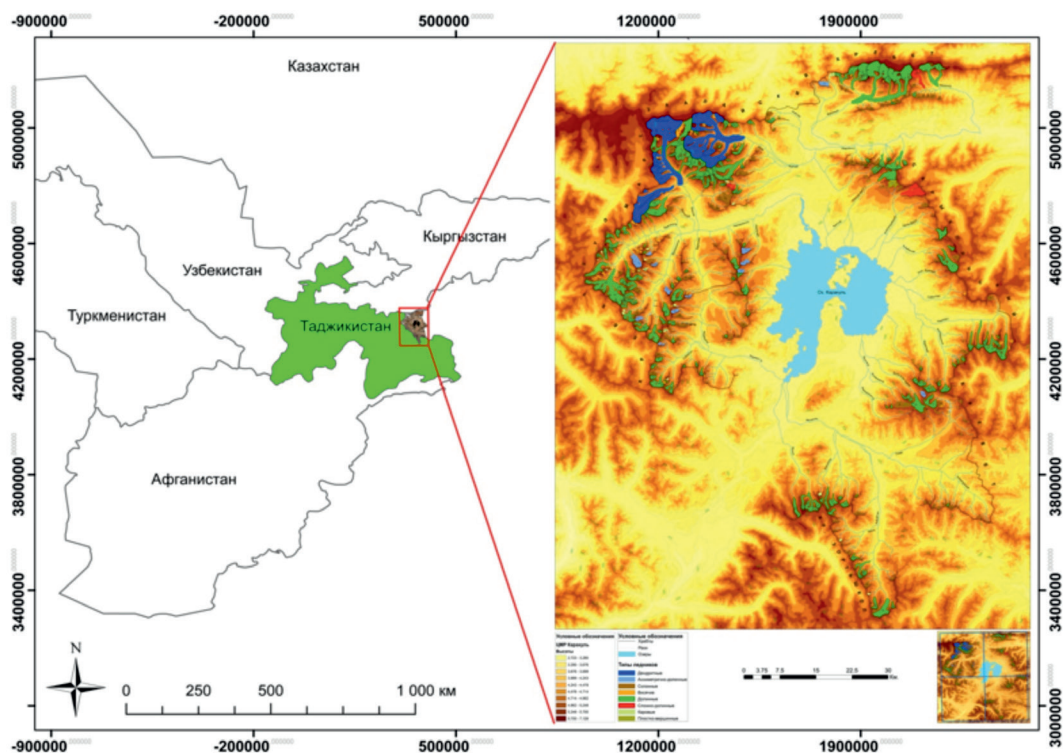


Рисунок 1. Бассейн озера Каракуль.

Место и объект исследования

Объектом исследования является малые ледники бассейна озера Каракуль. Водосбор озера Каракуль составляет 4210 км² и находится в северной части Восточного Памира. Решающими климатическими факторами является большая высота нагорья и его южное положение. Температурный режим Памирского нагорья не соответствует его широтному положению и характерен скорее для субарктических районов. Согласно данным метеостанции Каракуль, зимой заморозки достигают до -40°C, а летом, часто опускается ниже нуля [8, 9, 10].

ратурный режим Памирского нагорья не соответствует его широтному положению и характерен скорее для субарктических районов. Согласно данным метеостанции Каракуль, зимой заморозки достигают до -40°C, а летом, часто опускается ниже нуля [8, 9, 10].

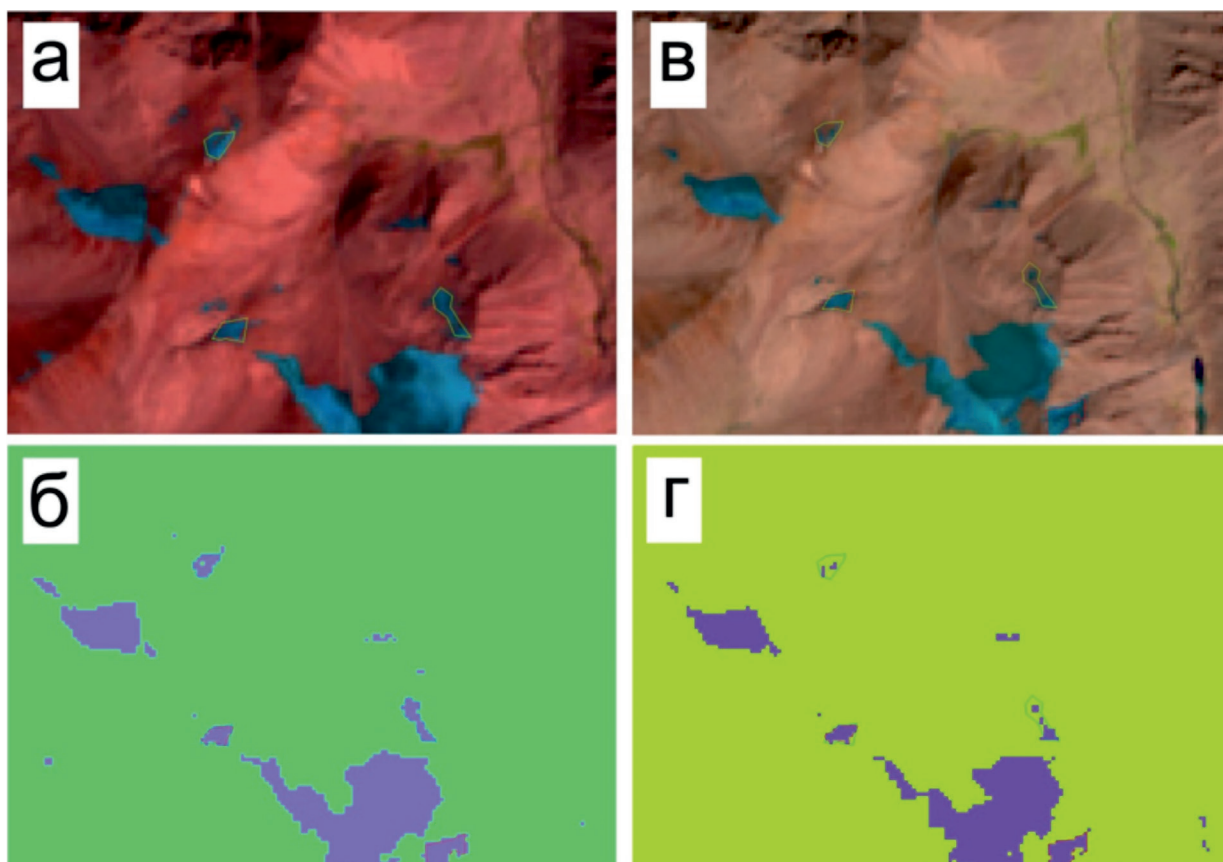


Рисунок 2. Автоматическое определение ледников. а) Спутниковый снимок 1994 года.
б) Автоматическая классификация ледников 1994 года. в) Спутниковый снимок 2018 года.
г) Автоматическая классификация ледников 2018 года.

Используемые инструменты для обработки растровых данных которые позволяют определить типы поверхности на спутниковом снимке и каждый цвет на поверхности этого снимка имеет индекс, для которого можно присвоит значение (название), можно также группировать похожие цвета или разгруппировывать при необходимости. Это позволяет найти необходимые индексы для снега льда и фирны и сгруппировать их как один, который даёт нам единый объект, ледник.

Ледники, которые были определены автоматическим методом, были дополнительно скорректированы ручным экспертным методом для улучшения качества полученных данных.

Результаты

На основе проведённых работ с использованием данных дистанционного зондирования Земли с исследованием космических снимков 1994 и 2018 года для выявления количества и площади ледников меньше 0.1 км² в бассейне озера Ка-

ракуль получены следующие результаты: наблюдается значительное сокращение количества ледников за период с 1994 по 2018 гг. За этот промежуток времени число ледников сократилось с 254 до 198, что соответствует снижению примерно на 22%. Помимо сокращения количества ледников, наблюдается значительное уменьшение их общей площади в данном регионе. В 1994 году суммарная площадь ледников составляла 13 км², тогда как к 2018 году она сократилась до 9 км². Это указывает на потерю около 4 км² ледниковой поверхности, что соответствует снижению примерно на 31%. Таким образом, представленные данные демонстрируют значительное уменьшение, как числа так и общей площади малых ледников в бассейне озера Каракуль за период с 1994 по 2018 год, что отражает влияние

изменения климата на ледниковую динамику региона.

Ниже представлена карта бассейна озера Каракуль с отображением ледников площадью менее 0,1 км², идентифицированных с использованием спутниковых данных. Результаты анализа свидетельствуют о том, что ледники малых размеров равномерно распределены по всей территории бассейна. Звездочки на карте обозначают ледники, выявленные по спутниковым снимкам 2018 года, тогда как кружки указывают местоположение ледников, зафиксированных на спутниковых снимках 1994 года. Такая визуализация позволяет наглядно продемонстрировать изменения в численности и пространственном распределении малых ледников за исследуемый период.

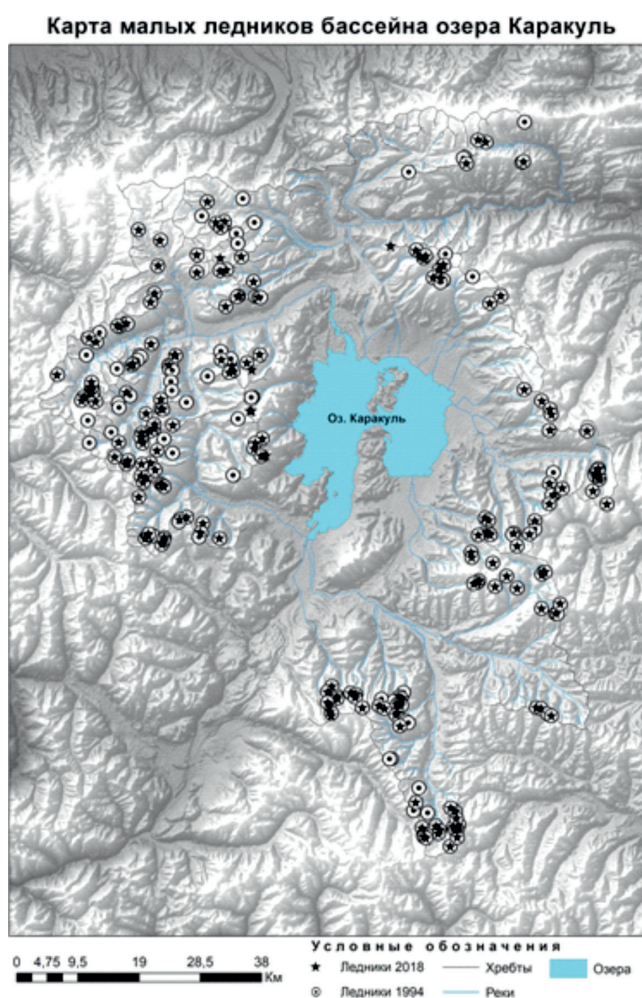


Рисунок 3. Карта малых ледников бассейна озера Каракуль.

Это свидетельствует о том, что ледники, обозначенные кружками, претерпели значительные изменения в течение периода исследования, охватывающего 24 года. Многие из этих ледников либо уменьшились в размерах до критически малых значений, либо полностью деградировали, что привело к их исчезновению. Этот процесс отражает влияние различных климатических факторов, таких как повышение температуры воздуха, уменьшение количества твердых осадков и увеличение интенсивности абляции. Деградация этих ледников также указывает на изменение ледникового баланса в регионе и усиливает необходимость систематического мониторинга, чтобы оценить темпы и причины таких трансформаций.

Обсуждение

Сокращение численности и площади малых ледников можно рассматривать, как наглядный индикатор изменения климата в данном регионе. Малые ледники более чувствительны к изменениям температуры и осадков, поэтому их сокращение на 22% по количеству и площади за относительно короткий промежуток времени (24 года) является тревожным сигналом.

Анализ пространственного распределения ледников показывает, что они присутствовали практически по всей территории бассейна озера в 1994 году (кружки). Однако к 2018 году многие из них исчезли, особенно в центральной и северной части бассейна (звездочки).

Интенсивное таяние малых ледников может оказывать значительное влияние на гидрологический режим и экосистему региона. Уменьшение объёмов талых ледниковых вод способно повлиять на уровень воды в озере Каракуль, его гидрохимический состав, а также на доступность водных ресурсов для прилегающих территорий. Эти изменения могут иметь долгосрочные последствия для биоразнообразия и водоснабжения в регионе, что подчёркивает важность дальнейших ис-

следований и мониторинга ледниковых систем.

Кроме того, сокращение площади ледников может существенно повлиять на альбедо поверхности, снижая её отражательную способность. Уменьшение альбедо приводит к увеличению поглощения солнечной радиации, что, в свою очередь, способствует дальнейшему повышению температуры поверхности. Такой процесс создаёт эффект положительной обратной связи, при котором потепление ускоряет таяние оставшихся ледников.

Этот механизм не только усиливает деградацию ледников, но также может изменить локальный климатический баланс, увеличивая частоту и интенсивность экстремальных температур. Эти изменения подчёркивают необходимость интеграции ледникового мониторинга в региональные климатические модели, чтобы лучше понять масштабы и последствия таких взаимодействий в контексте глобального изменения климата.

Выводы

За период с 1994 по 2018 год количество малых ледников (площадью менее 0,1 км²) уменьшилось с 254 до 198 (на 22%). Их общая площадь сократилась с 13 км² до 9 км² (на 31%).

Необходимо продолжать мониторинг ледников и изучение причин их таяния. Это позволит лучше понять масштабы последствий изменения климата в этом регионе и разработать соответствующие адаптационные меры для минимизации негативных последствий.

Данная работа вносит важный вклад в изучение этой проблемы и демонстрирует ценность использования данных дистанционного зондирования для отслеживания динамики ледников. Такой мониторинг необходим для своевременного выявления изменений и принятий, соответствующих мер по адаптации к ним.

Литература

1. Гляциологический словарь / Под ред. В. М. Котлякова. – Ленинград: ГИМИЗ, 1984. – С. 528.
2. Сарана В. А. Малые ледники российского сектора Арктики и Субарктики / В. А. Сарана // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2012. – №. 2. – С. 82-87.
3. Коваленко Н. В. Современное состояние малых ледников Кузнецкого Алатау и плато Путорана / Коваленко Н. В. // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2008. – №. 3. – С. 67-72.
4. Адаменко М. Новый подход к дифференциации малых ледников и многолетних снежников на основе длительности непрерывного существования гляциально-нивального объекта (на примере гор Кузнецкого Алатау) / М. М. Адаменко, Я. М. Гутак // Геосферные исследования – 2017. – №. 3. – С. 33–40
5. Осипов Э. Ю. Инвентаризация ледников Восточного Саяна по материалам космических съёмок / Э. Ю. Осипов, О. П. Осипова, Е. В. Клевцов // Лёд и снег. – 2017. – Т. 57. – №. 4. – С. 483-497.
6. Ананичева М. Д. Оценка изменений ледников гор Бырранга по космическим снимкам и Каталогу ледников СССР / М. Д. Ананичева, Г. А. Капустин // Лёд и снег. – 2010. – №. 3. – С. 19-26.
7. Давлятова А.Х. Динамика мореного покрова ледника Кизилсу / А. Х. Давлятова // Водные ресурсы, энергетика и экология. – 2024. – №. 4. – С. 33-40.
8. Каталог ледников СССР. Т. 14. Вып. 3. Ч. 17–18. Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 37 С.
9. Каюмов А. Баланс массы ледника Восточный Зулмарт (№139) за 2018-2022 годы / А. Каюмов, Х. К. Кабутов, М. Хольцле [и др.] // Известия Национальной академии наук Таджикистана. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2023. – № 1(190). – С. 94-102. – EDN HQCMJS.
10. Кабутов Х.К. Моделирование баланса массы ледника №139 бассейна озера Каракуль Восточного Памира с использованием модели SMB / Х. К. Кабутов, О. Х. Амирзода, Н. Ш. Шерализода, Е. Mattea, Т. Saks, П. Н. Абдуллоева // Водные ресурсы, энергетика и экология. – 2024. – №. 4. – С. 41-53.

ҲОЛАТИ ИМРЌЗАИ ПИРЯХҲОИ ХУРД ДАР ҲАВЗАИ КЌЛИ ҚАРОКЌЛ: ТАДҚИҚОТ ВА АРЗЁБЌ

Кабутов Х.Қ.^{1,*}

¹ Муассисаи давлатии илмӣ Маркази омӯзиши пирияхҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

*Муаллифи масъул. E-mail: kabutov.khusrav@gmail.com

Шарҳи мухтасар. Пиряхҳои хурд, ки ҳамчун пирияхҳои бо масоҳати камтар аз 0,1 км² муайян мешаванд, нақши муҳимро дар тавозуни гидрологии минтақаҳои кӯҳӣ мебозанд ва ҳамчун нишондиҳандаи тағйирёбии иқлим хизмат мекунанд. Усулҳои зондкунӣ фосилавии Замин усули муосир ва муҳим барои омӯзиши онҳо ба ҳисоб мераванд. Таҳлили маълумот барои солҳои 1994 то 2018 нишон дод, ки шумораи пирияхҳои хурд аз 254 то 198 кам шудааст (22%). Масоҳати умумии пирияхҳо низ дар ҳамин давра аз 13 км² то 9 км² коҳиш ёфтааст (31%).

Гузaronидани мониторинги систематикӣ пирияхҳо ва омӯзиши омилҳои деградацияи онҳо имкон медиҳад, ки андозаҳо ва оқибатҳои тағйирёбии иқлим дар сатҳи маҳаллӣ ва ҷаҳонӣ беҳтар дарк шаванд. Ин тадқиқот саҳми назаррасро дар омӯзиши динамикаи пирияхҳои хурд мегузорад ва самаранокии баланди истифодаи маълумоти зондкунӣ фосилавии Заминро барои таҳлил ва пайгирии тағйирот дар низоми пирияхҳо тасдиқ менамояд.

Калидвожаҳо: Пиряхҳои хурд, Помири Шарқӣ, мониторинги пирияхҳо, зондирони фосилавӣ, бақайдгирии пирияхҳо.

THE CURRENT STATE OF SMALL GLACIERS IN THE KARAKUL LAKE BASIN: RESEARCH AND ASSESSMENT

Kabutov KH.K.^{1,*}

¹ State Scientific Institution "Glacier Study Center" of the National Academy of Sciences of Tajikistan

*Corresponding author. E-mail: kabutov.khusrav@gmail.com

Abstract. Small glaciers, defined as glaciers with an area of less than 0.1 km², are of significant importance in maintaining the hydrological balance of mountainous regions and serve as indicators of climate change. Remote sensing methods represent a modern and essential approach to their study. An analysis of data from 1994 to 2018 revealed that the number of small glaciers decreased from 254 to 198, which is equal to a 22% reduction. Over the same period, the total area of these glaciers also decreased from 13 km² to 9 km², a decline of 31%. Conducting systematic glacier monitoring and investigating the factors contributing to their degradation enables a deeper understanding of the scale and consequences of climate change at both local and global levels. This study makes a significant contribution to the analysis of small glacier dynamics, confirming the high efficiency of using remote sensing data for analyzing and tracking changes in glacier systems.

Keywords: Small glaciers, Eastern Pamir, glacier monitoring, remote sensing, glacier inventory.

Маълумот дар бораи муаллиф: Кабутов Хусрав Курбонҷонович, мудири шуъбаи мониторинги пирахҳои криосфера ғляциология ва ГИС-технологияи Маркази омӯзиши пирахҳои АМИТ. Тел.: (+992)934538084, E-mail: kabutov.khusrav@gmail.com.

Сведения об авторе: Кабутов Хусрав Курбонджонович, заведующий отделом мониторинга ледников, криосферы, гляциологии и ГИС-технологий ГНУ Центр изучения ледников НАНТ, Тел.: (+992) 934538084, E-mail: kabutov.khusrav@gmail.com.

Information about the authors: Kabutov Khusrav Kurbonjonovich Head of "Department for Glaciers Monitoring, Cryosphere, Glaciology and GIS technology of the SSI Center for Research of Glaciers of the NAST" Phone: (+992)934538084, E-mail: kabutov.khusrav@gmail.com.

УДК 551.324

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И СОЦИАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЛЕДНИКОВ ДЛЯ ГОРНЫХ РЕГИОНОВ

Хакдодов А.М.^{1,*}, Махмадалиев А.Г.², Ходжаева Н.Х.¹, Хакдод М.М.¹

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

²Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников» Национальной академии наук Таджикистана

*Автор-корреспондент. E-mail: hakdodovakbar@gmail.com

Аннотация. Ледники представляют собой критически важные компоненты горных экосистем, обладающие как природно-ресурсной, так и социально-культурной ценностью. В статье рассматривается многоаспектная значимость ледников, включая водохозяйственную, климаторегулирующую, рекреационную, научную, культурную и экологическую функции, а также негативные последствия, связанные с деградацией ледников в условиях глобального потепления.

Ключевые слова: ледники, горные регионы, водные ресурсы, экосистемные услуги, климат, устойчивое развитие, биоразнообразие, туризм.

Введение

Ледники представляют собой важные природные ресурсы, которые не только обеспечивают жизнедеятельность людей, но и играют ключевую роль в сохранении климата, экосистем и культурного наследия. Однако их таяние и связанные с ним

проблемы также требуют серьезного внимания и изучения [1,2].

Изменение климата и антропогенное воздействие повсеместно приводит к быстрому сокращению ледников, что ставит под угрозу социально-экономическое развитие горных регионов. Это может

привести к нехватке воды, снижению урожайности, сокращению выработки электроэнергии и ослаблению туристической привлекательности.

Как известно, ледники Таджикистана, которые насчитывают более 13000 и с общей площадью 11146 км², или занимает около 8% территории страны. По прогнозам, до 2050 года в Таджикистане полностью исчезнут несколько тысяч мелких ледников. Площадь оледенения страны уменьшится на 20%, а объём льда сокра-

тится на 25% [3].

Значение ледников для горных регионов

Горные ледники выполняют ключевые функции в гидрологическом, климатическом и социально-экономическом балансе регионов, особенно в высокогорных зонах Центральной Азии [4]. Они не только аккумулируют пресную воду, но и влияют на климатические режимы, развитие туризма и культурные практики местных сообществ (табл. 1).

Таблица 1. Экономическое и социальное значение ледников для горных регионов.

Значение ледников	Основные свойства	Экономическая и социальная значимость
Водные ресурсы	Ледники накапливают и хранят пресную воду	Обеспечивают питьевую воду, используются для орошения, производства гидроэнергии. Вода является товаром с рыночной стоимостью, необходимым для сельского хозяйства и обеспечения населения
Климатический регулятор	Ледники влияют на температуру, осадки и влажность в регионе	Регулируют локальный климат, способствуют предотвращению засух и перегрева в горных и прилегающих районах. Климатический фактор имеет экономическое значение для сохранения экосистем и сельского хозяйства
Туризм и рекреация	Ледники являются объектами альпинизма, горных лыж и экотуризма	Способствуют развитию туристической инфраструктуры, создают рабочие места в туризме и гостиничном бизнесе. Развитие горнолыжных курортов и экотуризма приносит значительный экономический доход регионам
Научный источник	Ледники содержат данные о климате прошлого и сохранили следы древних форм жизни	Служат источником для исследований изменения климата, археологии и биологии. Ледниковые образцы помогают прогнозировать климатические изменения, а также изучать биологическое разнообразие
Культурное и духовное наследие	Ледники могут быть связаны с мифами, легендами, являются объектами религиозного поклонения и эстетического наслаждения	Ледники играют важную роль в культурных и духовных практиках горных народов, являются символами природных чудес и связаны с местными религиозными верованиями
Экологическое наследие	Ледники поддерживают уникальные природные экосистемы, служат домом для многих видов флоры и фауны	Обеспечивают сохранение биоразнообразия, поддерживают экосистемные услуги, важны для устойчивости горных экосистем и водных ресурсов
Негативные последствия	Ледники могут препятствовать освоению природных ресурсов, создавать угрозу природных катастроф	Ограничивают разработку полезных ископаемых, гидроэнергетических объектов и инфраструктуры. Таяние ледников может вызвать природные бедствия, такие как наводнения и оползни, наносящие ущерб экосистемам и населению

Анализ таблицы 1 представляет комплексное рассмотрение многоаспектной роли ледников в горных регионах, демонстрируя их ключевое значение как с точки зрения устойчивого развития, так и с позиции социальной и экономической стабильности. Представленные в таблице положения обладают научной обоснованностью и позволяют сделать ряд значимых выводов.

1. Ледники как стратегический резервуар водных ресурсов

С научной точки зрения, ледники выполняют роль аккумуляторов пресной воды, обеспечивая её поступление в реки в течение всего года, особенно в засушливый сезон. Это критически важно для водоснабжения населения, ирригации сельскохозяйственных угодий и гидроэнергетики. В горных регионах Центральной Азии, например, до 60–80% речного стока формируется за счёт таяния ледников. Таким образом, ледники становятся не только источником жизни, но и товаром с выраженной рыночной стоимостью, что делает их стратегическим ресурсом национальной безопасности.

2. Регулирование локального климата как климатическая функция ледников

Регулирующая функция ледников заключается в смягчении экстремальных температур, поддержании уровня влажности и влиянии на сезонность осадков. Эти факторы определяют агроклиматические условия, от которых зависит устойчивость сельского хозяйства. Снижение ледниковой массы оказывает прямое влияние на увеличение температур в регионе, усиливая риски засух и климатической нестабильности, что ведёт к потере урожайности и экономическим убыткам.

3. Туризм как экономический драйвер горных сообществ

Ледники способствуют формированию туристической привлекательности региона, особенно в сегменте альпинизма, лыжного туризма и экотуризма. Раз-

витие соответствующей инфраструктуры (гостиницы, подъёмники, сервисы гидов) приводит к диверсификации региональной экономики, созданию рабочих мест и формированию устойчивого дохода для местного населения. В Республике Таджикистан туризм, особенно экотуризм (ледниковый туризм), имеет значительный потенциал для устойчивого экономического роста и сохранения природного и культурного наследия. Стратегия развития туризма в Республике Таджикистан на период до 2030 года направлена на создание конкурентоспособной туристической отрасли, развитие инфраструктуры и повышение качества туристических услуг [5].

Особое внимание уделяется развитию экотуризма, который способствует сохранению природных ресурсов и улучшению благосостояния местных сообществ.

4. Научная и прогностическая значимость ледников

Ледники служат естественными архивами климатической истории, содержащими изотопную, газовую и биологическую информацию. Эти данные важны для реконструкции палеоклиматических условий и оценки темпов изменения климата. Исследования, проводимые на ледниках, позволяют делать долгосрочные прогнозы климатических рисков и разрабатывать стратегии адаптации к ним. Кроме того, обнаружение замороженных организмов и артефактов позволяет углубить понимание эволюционных процессов и истории цивилизаций.

5. Культурное и духовное измерение

Многие ледники являются объектами местных мифов, религиозных практик и художественного вдохновения. Их разрушение вследствие глобального потепления может восприниматься как утрата духовного наследия, что усугубляет социокультурные риски. Для горных народов, ледники обладают сакральным статусом, что подчеркивает необходимость вклю-

чения культурного фактора в экологическую политику.

6. Экологическая значимость и биоразнообразие

Ледниковые экосистемы являются уникальными природными ландшафтами, поддерживающими существование редких и эндемичных видов. Они выполняют функции экосистемных услуг, таких как фильтрация воды, поддержание микроклимата и предотвращение эрозии почв. Потеря этих экосистем приведёт к снижению устойчивости природных систем, что отразится на всех уровнях природопользования.

7. Негативные последствия и экологические риски

Хотя ледники выполняют множество полезных функций, их наличие также связано с определёнными ограничениями в освоении территорий. Наличие ледников может затруднять реализацию инфраструктурных и горнодобывающих проектов. Однако наиболее серьёзными являются катастрофические риски, связанные с таянием ледников: образование ледниковых озёр, внезапные паводки, оползни и селевые потоки. Эти процессы несут угрозу жизням и имуществу населения и требуют интеграции в стратегии управления рисками и пространственного планирования.

Одним из факторов, способствующих климатическим изменениям, является добыча полезных ископаемых. Этот процесс сопровождается увеличением выбросов парниковых газов, разрушением экосистем и изменением альбедо поверхности Земли. В особенности добыча полезных ископаемых оказывает значительное воздействие на ледниковые экосистемы, ускоряя их таяние и приводя к изменениям гидрологического режима.

Таджикистан обладает огромными запасами полезных ископаемых, большинство из которых расположены высоко в горах в непосредственной близости

к зонам формирования ледников. По имеющимся данным, на сегодня выявлены более 700 месторождений полезных ископаемых, в которых имеется более 50 видов минерального сырья: золото, серебро, свинец, сурьма, ртуть, медь, драгоценные и декоративные камни, уголь, соль и другие редкие минералы. Поэтому в соответствии с пунктом 2 статьи 10 Закона Республики Таджикистан «О защите ледников», ведение геологоразведочных работ, переработка и добыча полезных ископаемых, строительство или использование подземных сооружений в зонах санитарной защиты ледников должны осуществляться согласно требованиям законодательства Республики Таджикистан [3].

В настоящее время, учёные во всём мире проводят различные исследования, чтобы выявить факторы, влияющие на глобальное потепление. Одной из такой теории называется «геоцентрическая теория изменения климата», которая описывает то, что изменение температуры поверхности Земли может привести к изменению многих физических величин в атмосфере и океанах. Это указывает на то, что внутреннее тепло Земли, достигающее земной коры, участвует в процессах изменения климата. При этом, внутренние слои Земли влияют на атмосферные процессы благодаря непрерывной доставке материалов и энергии в атмосферу, что в конечном итоге вызывает изменение климата [6-8].

Учёные доказали, что тепловой поток от мантии к атмосфере приводит не только к развитию и эволюции организмов, но также к изменению климата. В ходе исследований были выявлены факты, которые поддерживают теорию об истощении теплоизоляционного слоя земной коры, происходящее в результате чрезмерного потребления природных ресурсов. Крупномасштабная добыча людьми ископаемой энергии приводит к повреждению

термостойкого уплотнения коры, что влияет на увеличение теплового потока, передавая, таким образом, чрезмерное тепло к поверхности Земли, что вызывает рост температуры моря, и в конечном итоге приводит к глобальному потеплению [7-8].

Изменение климата уже оказывает разрушительное влияние на ледники и прибрежные зоны, а также может способствовать интенсивному таянию вечной мерзлоты, что усилит выбросы парниковых газов. Важно, чтобы мировой экономический и экологический баланс был пересмотрен в свете этих проблем. Трансформация энергетических систем, переход на возобновляемые источники энергии, охрана экосистем и сокращение выбросов углерода — это не просто шаги к спасению планеты, а необходимость для сохранения глобального климата и экосистем, от которых зависит будущее человечества.

Опыт освоения минеральных ресурсов в ледниковых районах, показывает, что неблагоприятное воздействие горнодобывающей промышленности на окружающую природную среду известно давно. Добыча из недр Земли минералов и полезных ископаемых, их переработка, обогащение и извлечение ценных компонентов невозможны без выбросов и рассеяния в окружающей среде металлов, радионуклидов и кислотообразующих веществ.

Кроме того, ледники могут представлять собой препятствия для развития крупных инвестиционных проектов, которые имели место при освоении крупного золото-серебряного месторождения «Паскуа Лама» на границе Аргентины-Чи-

ли, медного месторождения «Андиана» в Чили и «Кумтор» в Кыргызстане. Отсутствие оценки, неадекватная оценка или недостаточное выражение эколого-экономического предпочтения могут вызвать нарастание риска дальнейшей антропогенной (техногенной) деградации ледников во всех больших масштабах в связи с реализацией экологически неразумных проектов по добыче полезных ископаемых, особенно открытым способом [9-10].

До недавнего времени высокогорные регионы, отличающиеся не только значительной высотой, но и суровыми природно-климатическими и сложными горно-геологическими условиями, были относительно удалены и недоступны. Это отчасти сдерживало освоение богатых минеральных ресурсов высокогорья в нивально-гляциальном поясе гор (высокогорной криолитозоне), характеризующимся наличием ледников и вечной мерзлоты. Однако технический прогресс и растущий спрос на драгоценные и цветные металлы (золото, медь, цинк) способствовали повсеместному наступлению горнодобывающей промышленности на земные недра в любых природно-географических условиях, в том числе высокогорья [10].

Промышленные процессы, связанные с добычей угля, нефти, газа и рудных ископаемых, способствуют выбросу парниковых газов, загрязнению воздуха и разрушению экосистем. Одной из наиболее уязвимых природных систем в этом контексте являются ледники, которые стремительно сокращаются под воздействием климатических изменений (таблица 2).

Таблица 2. Влияние добычи полезных ископаемых на изменение климата и ледники.

Источник воздействия	Основные выбросы и последствия	Влияние на климат	Воздействие на ледники
Добыча угля	CO ₂ , CH ₄ (метан), загрязнение воздуха твёрдыми частицами	Увеличение парникового эффекта, повышение температуры	Оседание сажи на ледниках, снижение альбедо, ускоренное таяние
Нефтегазовая промышленность	Утечки метана, выбросы CO ₂ при сжигании	Увеличение глобального потепления	Нарушение водного баланса в ледниковых регионах
Горнодобывающая промышленность	Вырубка лесов, разрушение почвы, использование тяжелой техники	Уменьшение поглощения CO ₂ , повышение уровня парниковых газов	Изменение уровня осадков, сокращение площади ледников
Энергетический сектор (сжигание ископаемого топлива)	CO ₂ , NO ₂ , твёрдые частицы	Увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере	Повышение температуры, усиление таяния ледников
Оседание промышленных выбросов (сажи и аэрозолей)	Чёрный углерод, оксиды серы	Снижение способности атмосферы к охлаждению	Потемнение поверхности ледников, ускоренное таяние
Изменение осадков из-за климатических изменений	Снижение количества снежных осадков	Дисбаланс влагооборота, засухи или избыточные осадки	Недостаточное накопление снега на ледниках, сокращение их массы
Таяние вечной мерзлоты (из-за изменения климата)	Высвобождение метана	Усиление парникового эффекта, рост температуры	Дестабилизация ледниковых массивов, увеличение скорости таяния

Как следует из табл.3 процесс добычи и переработки полезных ископаемых сопровождается значительными выбросами углекислого газа (CO₂), метана (CH₄) и других парниковых газов. Основные источники выбросов:

- Угольная промышленность – сжигание угля для производства энергии выделяет большое количество CO₂. Кроме того, шахты выделяют метан, который является гораздо более мощным парниковым газом, чем углекислый газ.
- Нефтегазовая промышленность – добыча нефти и газа сопровождается утечками метана, а переработка и транспортировка этих ресурсов усиливают парниковый эффект.
- Горнодобывающая промышленность – вырубка лесов для разработки ме-

сторождений, разрушение почвы и использование тяжёлой техники способствуют увеличению выбросов.

Для смягчения последствий добычи полезных ископаемых и сохранения ледников необходимо:

- развитие возобновляемых источников энергии и сокращение зависимости от ископаемого топлива;
- введение строгих экологических стандартов для добывающих компаний;
- мониторинг состояния ледников с помощью спутниковых технологий и научных исследований;
- восстановление экосистем, особенно лесов, которые играют ключевую роль в поглощении CO₂.

Выводы

Таким образом, ледники представляют собой сложную природную систему

с высоким уровнем многогранной значимости. Экономическое и социальное значение проявляется в поддержании аграрного сектора, развитии энергетики и туризма, в обеспечении водой и формировании устойчивых сообществ, в исследовательских возможностях и культурно-духовной сфере. Тем не менее, добыча полезных ископаемых в непосредственной близости от ледников представляет собой серьезную угрозу не только для самого ледника, но и для экосистем в целом. Локальные изменения климата, загрязнение, разрушение инфраструктуры и воздействие на водные ресурсы — все эти факторы способствуют ускорению таяния ледников, что приводит к нарушению глобального климатического баланса и угрозам для экосистем. Подобные изменения требуют разработки устойчивых методов ведения горной промышленности и управления природными ресурсами, чтобы минимизировать негативное воздействие на ледники и климат.

Литература

1. Хакдод М.М. О роли криосферных наук в изучении и защиты ледников/ Гулахмадзода А.А., Хакдодов А.М.// Научный журнал Водные ресурсы, энергетика и экология Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана. – Душанбе, 2025, №5 (1), с. 9-18.
2. Barnett, T.P., Adam, J.C., Lettenmaier, D.P. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 2005. 438(7066), p. 303–309.
3. Государственная программа изучения и сохранения ледников на 2010–2030 годы https://www.adlia.tj/show_doc.fwx?rgn=15407
4. Beniston, M. Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. *Climatic Change*, 2003. 59(1), p. 5–31.
5. Стратегия развития туризма в республике Таджикистан на период до 2030 года https://adlia.tj/show_doc.fwx?rgn=147104
6. Кузнецов О. А. Изменение климата вследствие добычи полезных ископаемых / О. А. Кузнецов, Н. А. Семенова, А. Ф. Рыжков // Труды третьей научно-технической конференции молодых ученых Уральского энергетического института. — Екатеринбург: УрФУ, 2018. — С. 72-73.
7. Яо Му, Хинжи Му. Энергетика и глобальные изменения. Научное электронное периодическое издание ЮФУ «Живые и биокосные системы», № 19, 2017.
8. Atsuro K Atsumata, Akihiko M Urata, Alison M. Macdonald. Deep Ocean Changes near the Western Boundary of the South Pacific Ocean. *J Phys Oceanogr*, 2013. 2132- 2141 sh.
9. Kronenberg J. Linking Ecological Economics and Political Ecology to Study Mining, Glaciers and Global Warming// *Env. Pol. Gov.* 23, 75–90 (2013)
10. Ледники, золото и геоэкология Кумтора / И.А. Торгоев. – Бишкек, 2016. 197 с.

АҲАМИЯТИ ИҚТИСОДИЮ ИҶТИМОИИ ПИРЯҲҶО БАРОИ МИНТАҚАҶОИ КУҲИСТОН

Ҳакдод М.М.^{1*}, Махмадалиев А.Г.², Хочаева Н.¹, Хакдодов А.М.¹

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

²Муассисаи давлатии илмӣ «Маркази омӯзишии пирияхҷо»-и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

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

Шарҳи мухтасар. Пиряхҷо ҷузъҳои муҳими экосистемаҳои кӯҳӣ буда, ҳам захираҳои табиӣ ва ҳам арзиши иҷтимоӣ-фарҳангӣ доранд. Дар мақола аҳамияти бисёрҷанбаи пирияхҷо, аз ҷумла идоракунии об, танзими иқлим, вазифаҳои рекреатсионӣ, илмӣ, фарҳангӣ ва экологӣ, инчунин оқибатҳои манфии таназзули пирияхҷо дар шароити гармиавии глобалӣ баррасӣ шудааст.

Калидвожаҳо: пирияхҷо, минтақаҳои кӯҳӣ, захираҳои об, хадамоти экосистема, иқлим, рушди устувор, гуногунии биологӣ, сайёҳӣ.

ECONOMIC AND SOCIAL SIGNIFICANCE OF GLACIERS FOR MOUNTAIN REGIONS

Haqdod M.M.^{1,*}, Makhmadaliev A.G.², Khodjaeva N.Kh.¹, Haqdodov A.M.¹

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

²*State Scientific Institution "Glacier Study Center" of the National Academy of Sciences of Tajikistan*

Abstract. *Glaciers are critical components of mountain ecosystems, possessing both natural resource and socio-cultural value. The article examines the multi-aspect significance of glaciers, including water management, climate regulation, recreational, scientific, cultural and ecological functions, as well as the negative consequences associated with the degradation of glaciers in the context of global warming.*

Key words: *glaciers, mountain regions, water resources, ecosystem services, climate, sustainable development, biodiversity, tourism.*

Маълумот онд ба муаллифон. Хакдодов Акбарҷон Махмадшарифович, унвонҷӯи Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. E-mail: hakdodovakbar@gmail.com., Ҳақдод Маҳмадшариф Маҳмуд – доктори илмҳои техникаӣ, профессор, мушовири илмӣ Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. E-mail: mkhakdodov@mail.ru. Маҳмадалиев Абдусалом Ғуломович – номзоди илмҳои геология-минералогия, сарҳодими илмӣ озмоишгоҳи МДИ “Маркази омузиши пирияхҳо”-и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. E-mail: m.e. abdu salom@ mail.ru. Ҳоҷаева Нурбиби-докторанти Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, E-mail: ray05.03.25@gmail.com; Ҳақдод Маҳмадшариф Маҳмуд – доктори илмҳои техникаӣ, профессор, мушовири илмӣ Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. E-mail: mkhakdodov@mail.ru.

Сведения об авторах. Хакдодов Акбарджон Махмадшарифович, соискатель Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, hakdodovakbar@gmail.com., Махмадалиев Абдусалом Гуломович – кандидат геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории ГНУ «Центр изучения ледников» НАНТ. E-mail: m.e. abdu salom@ mail.ru., Ходжаева Нурбиби - докторант Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, E-mail: ray05.03.25@gmail.com., Хакдод Махмадшариф Маҳмуд – доктор технических наук, профессор, научный консультант Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ. E-mail: mkhakdodov@mail. ru.

Information about the authors. Haqdodov Akbarjon Mahmadsharifovich, fellow applicant of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, hakdodovakbar@gmail.com., Mahmadaliev Abdusalom Ghulomovich- candidate of geological and mineralogical sciences, senior researcher of the state scientific institution «Centr for research of glaciers» of the National Academy of Sciences of Tajikistan. E-mail: m.e. abdu salom@ mail.ru., Hojaeva Nurbibi – PhD student of the Institute of water problems, hydropower and ecology of National Academy of Sciences of Tajikistan, E-mail: ray05.03.25@gmail.com, Haqdod Mahmadsharif Mahmud – doctor of technical sciences, professor, senior researcher of the Institute of water problems, hydropower and ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan. E-mail: mkhakdodov@mail.ru.,

ТДУ 556.5(07)

КОРКАРДИ АМСИЛАИ БИОХИМИЯВИИ РАВАНДИ ХУДТОЗАШАВИИ ОБ ДАР МИСОЛИ ДАРӢИ ВАРЗОБ

Толибова У.О.^{1,*}, Холназарова З.Д.¹, Амирзода О.Х.¹

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

*Муаллифи масул: E-mail: u.tolibova@mail.ru

Шарҳи мухтасар. Дар мақолаи мазкур оид ба раванди худтозашавии об дар мисоли дарӢи Варзоб таҳқиқотҳо гузаронида шуда, муайян карда шудааст, ки ифлосшавии об дар сарчашмаҳо аз қимати сарфи об (Q) бештар вобастагӣ дошта, ҳангоми зиёд будани он раванди ифлосшавии об бештар ба мушоҳида мерасад. Дар асоси таҳқиқотҳо пешниҳод карда мешавад, ки чиҳати афзун намудани раванди худтозашавии об тамоми намудҳои мухталифи низоми экологии рӯйзаминӣ ва мавқеи гизогрии он ҷаъол карда шуда, чиҳати нигоҳ доштани сифати об зарур аст, ки гуногунии биологӣ муҳити атроф ҳифз карда шавад.

Калидвожаҳо. Амсилаи биохимиявӣ, раванди худтозакунии об, гуногунии биологӣ, оксигени ҳалишуда, талабот ба оксигени биохимиявӣ, зариби ислоҳ.

Муқаддима

Низоми худтозашавии обҳои табиӣ раванди мураккаб буда, маҷмӯи тағйирёбиҳои физикӣ, химиявӣ ва биологиро дар бар мегирад. Ҳолати тозашавӣ бештар бо тағйироти нишондоди ифлоскунандаҳои биологӣ ва физикӣ фаҳмида мешавад. Раванди худтозашавӣ танҳо ба об хос аст. Дар ҳок низ раванди худтозашавӣ дида мешавад, аммо ин ҳам бошад бо ёрии об ба амал меояд.

Арзёбии равандҳои худтозашавии об дар замони муосир яке аз масъалаҳои мубрами илм, ба хоҳири идоракунии сифати об боқӣ мемонад. Ин дар ҳолат, ки инсоният қобилияти тоза кардани кулли гидросфераро надорад, баръакс ҳамчун ифлоскунандаи асосии он маҳсуб меёбад. Ифлосшавии гидросфера аз омилҳои гуногун иборат аст. Равандҳои ифлосшавӣ дар баробари ифлосшавии мустақим, ифлосшавии интиқоли (трансформатсия) низ дорад. Дар ин ҳолат динамикаи якҷояшавии оби тоза бо оби ифлос, яъне раванди диффузия ба амал меояд, ки он механизми ҳоси худро доро мебошад. Омӯзиши раванди худтозашавии об яке аз қисмати гидрология буда, барои пеш бурдани таҳқиқот диққати махсусро ҷалб намудааст, аммо то ба дараҷаи зарурӣ рушд накардааст.

Механизми худтозашавии об – равандест, ки ба он дар баробари дигар омилҳо, ба хусусиятҳои маҷро низ таъсири муайян расонида метавонад. Вобаста ба ин, барои омӯзиш ва муайян намудани механизми худтозашавии об олимони амсилаҳои зиёд коркард кардаанд [1-3].

Дар кишварҳои рушдёфта дараҷаи ифлосшавии оби дарёҳо то 70% ташкил медиҳанд, ки дар умум ба низоми гидрологии ҷаҳонӣ бе таъсир наемонад. Омӯзишҳо ва таҳқиқотҳо нишон медиҳанд, ки худтозашавии биохимиявӣ [4] ва зариби (коэффитсиенти) суръати тозашавӣ (K) аз моддаҳои ифлоскунанда вобаста аст.

Барои арзёбии зариби “ K ” якҷанд наздиккуниҳо, аз ҷумла амсиласозииҳои озмоишӣ, табиӣ ва худдири истифода мебаранд. Аммо як методологияи муайяни густурда то ҳол коркард нашудааст, ки зариби “ K ” ба таври маҷмаавӣ муайян карда шавад, яъне ҳангоми таҷрибагузаронӣ бояд тағйирёбии ҳаҷми об дар раванди намунагирӣ бо назардошти таъсиррасонӣ аз раванди биохимиявӣ ба инобат гирифта шавад.

Чи тавре, ки маълум аст оксигени ҳалшуда (O_2) ва талабот ба оксигени биохимиявӣ (TOB) ҷабҳаҳои асосии сифати об пазируфта шуда, яке аз роҳҳои қуллай барои сарчашмаҳои обҳои таъминкунанда

ба ҳисоб меравад. Амсилаи такмилшудаи пешниҳод шудаи алоқамандии оксигени ҳалшуда дар асоси амсилаи [5] коркард шудааст.

Аз ин рӯ, раванди оксигени ҳалшуда (ОХ) бо ҳама манбаъҳо ва ҳалшавии оксиген дар дарё алоқамандии зич дорад. Ҳамин тавр, оксигени ҳалшуда ва талабот ба оксигени биохимиявӣ (ТОБ) ҷабҳаҳои муҳими сифати об маҳсуб меёбанд.

Таҳқиқот оид ба амсиласозии таъсири мутақобилаи (ТОБ) ва (ОХ) дар дарё аз ҷониби амсилаи классикии Стритер ва Фелпс бори аввал коркард шудааст [6]. Ин амсила на танҳо дар арзёбии сифати об, балки барои пешгӯии зараре, ки дар натиҷаи татбиқи тадбирҳои идоракунии захираҳои об ба амал меоянд, васеъ истифода мешаванд.

Бо вучуди ин, ҳар як амсилаи сифати об наздикуниҳои худро дорад. Аз ин рӯ, барои бартараф кардани ин камбудии ин амсилаҳоро боз ҳам такмил додан зарурӣ ба миён омадааст.

Раванди худтозашавии об ба сатҳи эвтрофикатсияи обҳои рӯизаминӣ зич алоқаманд аст. Эвтрофикатсия – ин раванди ташаккули обанборҳо бо элементҳои биогенӣ мебошад, ки ба афзоиши ҳосилнокии биологии ҳавзаҳои обӣ оварда мерасонад. Эвтрофикатсия ғанӣ шудани моддаҳои ғизоӣ, асосан фосфор ва нитроген мебошад, ки боиси афзоиши алафҳо ва афзоиши баланди растаниҳо ва дар баъзе ҳолатҳо боиси вайрон шудани мувозинати экологии экосистемаи обӣ мегардад. Дар муқоиса бо обҳои доимӣ, ба таъсири эвтрофикатсия ва афзоиши сарбории органикӣ ба экосистемаҳои оби равон таваҷҷӯҳи зиёд дода нашудааст [7-8].

Амсилаҳое, ки ҳамаи ин омилҳоро дар бар мегиранд, ҳанӯз дастрас нестанд, аммо амсилаҳои зиёде мавҷуданд, ки танҳо ба як қисми ин равандҳо таммаркуз мекунанд. Баъзе аз ин қисмҳоро барои

пур кардани амсилаи пурраи эвтрофикатсияи ҷараён истифода бурдан мумкин аст. Аммо, аз сабаби фарқияти байни намудҳои ҷараён ва минтақаҳои ин қисмҳо бояд аввал барои татбиқи онҳо ба намуди ҷараён ва минтақаи мавриди таваҷҷӯҳи хос қарор гирад.

Объект ва усулҳои таҳқиқот

Дар мақолаи мазкур ба ҳайси объекти таҳқиқот дарёи Варзоб интиҳоб гардидааст. Дар илми муосир усулҳои гуногуни худтозакунии об мавриди таҳқиқ қарор дода шудааст. Мо дар таҳқиқоти хеш барои арзёбии раванди худтозашавии сарчашмаҳои обӣ коркарди амсилаи биохимиявиро дар мисоли дарёи Варзоб қўлай шуморида, натиҷаҳои онро пешниҳод менамоем. Бояд таъкид намоем, ки раванди худтозашавии об бо оксигени ҳалшуда (ОХ) аз сарчашмаҳои маҷрои дарё алоқамандии зич дорад.

Яке аз мушкilotи мураккаби омӯзиши худтозашавӣ - гуногунии сохтори экологӣ аз сарчашма то интиҳои дарё мебошад. Равандҳои худтозашавӣ дар дарё мураккаб буда, онҳоро бо як қатор параметрҳои биохимиявӣ ва гидрологӣ тавсиф кардан мумкин аст. Раванди оксидшавии биохимиявӣ, ки тавассути он партовҳои органикӣ истеъмол мешавад, маҳсулоти ниҳой ба монанди карбонҳо, фосфатҳо ва нитратҳо боқӣ мемонанд.

Мавҷудияти карбонҳои ғайриорганикӣ аз рӯи сатҳҳои оксиди карбон ҳалшуда муайян карда мешавад. Концентрацияи газӣ карбон нисбат ба концентрацияи оксигени ҳалшуда ба таври назаррас камтар аст. Дар шароити иқлими континенталӣ газӣ карбон дар ҷараёнҳои об асосан ба равандҳои оксидшавӣ таъсир мерасонад. Карбонҳои органикӣ ба амсила бевосита тавассути талаботи оксигени биохимиявӣ дохил карда шудаанд. Равандҳои табдилдиҳии фосфатҳо ва нитратҳо дар амсила мустақиман пайваست карда мешаванд.

Дар маҷмӯъ динамикаи якченакаи ад-
вективӣ-диффузиявӣ ифлоскунадаи об,
ки истилоҳи диффузияро сарфи назар ме-

кунанд, метавон ҳамчун муодилаи диффе-
ренсиалӣ навишта шавад:

$$\frac{d(\omega \cdot C_j)}{dt} + \frac{d(Q(t) \cdot C_j)}{dx} = K_{C_j}(t) \cdot C_j \cdot \omega + G_j(t) \cdot \omega \quad 1)$$

дар ин ҷо $K_{C_j}(t)$ - функсияи таназзули j
концентратсияи моддаҳои ифлоскунада
мебошад, ки суръати табдили бо таъсири
равандҳои кимӣ ва биологӣ муайян-
шударо тавсиф мекунад; $Q(t)$ функсияи
суръати ҷараёни дарё; ω масоҳати бури-
ши дарё (m^2); ва $G_j(t)$ ҷараёни j ифлоску-
нада мебошад.

Системаи муодилаҳое, ки дар асоси
муодилаи (1) ташақкул ёфтаанд, муоди-
лаҳои концентратсияи фосфат C_{PO_4} , фос-
фори умумӣ C_{DOP} , аммоний C_{NH_4} , нитрат
(NO_3-N), нитрогени умумӣ C_{DON} , талабот
ба оксигени биохимиявӣ C_{ORG} , оксигени
ҳалшударо C_{O_2} дар бар мегирад. Ин ам-
силаи якченака ба самти “х” ҳаракатку-
нада буда, танҳо барои амсиласозии
дарёҳои хурд мутобиқат мекунад, ки бо
тағирёбии хурд дар координатҳои амудӣ
ва уфуқӣ хос мебошад. Амсилаҳои ду ва
сеченака низ имконпазиранд, аммо онҳо
аз назари ҳисоббарорӣ мураккаб мебо-
шанд [9].

Системаи мазкур бо муодилаҳои ададӣ
бо шабакаи фазову вақт ($tn; xi$): $tn+1 =$
 $tn + \tau (n = \overline{0, N})$, $xi+1 = xi + \Delta (i = \overline{1, L})$ ҳал
карда мешавад, дар ин ҷо $\tau = const$ тамою-
ли вақт, $\Delta = const$ - тамоюли доимӣ мебо-
шад. Барои ҳалли ин муодилаҳо шартҳои
наздиққунӣ истифода мешавад. Он дар
асоси шабакаи се нуқта нақшаи воқеиро
инъикос мекунад. Барои боварӣ ҳосил
кардани конвергенсияи схемаи ададӣ дар
ин ҷо ба таври тахмин истифода мешавад,
ки тамоюли доимӣ бояд аз тамоюли вақт
бузургтар бошад.

Ҳамаи меъёрҳои ҳарорат, мубодилаи
микробҳо, таркиб ва концентратсияи био-

генҳо аз манбаи ифлосшавӣ дар амсила
фарқ мекунаанд.

Арзёбии параметрҳои (K_{OX}) ва (K_{TOB})
барои интиҳоби қачи ҳаллӣ, ки систе-
маи воқеиро беҳтар муаррифӣ мекунад,
муҳим аст. Бо вучуди ин, ягон усули му-
айян кардани арзишҳои мавҷуд нест, ки
ба воқеияти обанбори додшуда муво-
фиқат кунанд. Зарибҳои реазратсия аз са-
баби вобастагии онҳо аз ҳаракати турбу-
лентии об ба таври васеъ фарқ мекунаанд,
ки онҳоро мураккаб ва дақиқ чен кардан
душвор аст.

Баландшавии сатҳи ғизоӣ боиси пай-
дошавии биомасса, растаниҳо ва баланд
шудани суръати биодеградатсия мегар-
дад. Агар растаниҳо дар давоми рӯз ок-
сиген тавлид кунанд, онҳо шабона онро
истеъмол мекунаанд ва афзоиши биомасса
маъноӣ афзоиши оксигенро дар шабона
дорад. Ин чунин маъноӣ афзоиши мод-
даҳои органикиро ҳангоми нобудшавии
онҳоро дорад. Таҷзияи моддаҳои орга-
никӣ ҳангоми сатҳи баланди ғизо зиёд ме-
шавад, барои таҷзия моддаҳои органикӣ
бештар вучуд доранд ва дар мавриди таҷ-
зияшавӣ оксигенро истифода мебаранд.
Ҳамаи ин равандҳо метавонанд ба кам-
шавии оксиген оварда расонанд.

Баландтарин арзишҳои (K_{OX}) метаво-
нанд дар фасли тобистон аз сабаби кон-
центратсияи баланди моддаҳои органикӣ
ҳангоми нигоҳ доштани саҳми моддаҳои
органикӣ дар ҷараён мушоҳида карда ша-
ванд. Ҳарорати баланди оби дарё ба ин
раванд мусоидат мекунад (дар моҳи июл
ба $14^\circ C$).

Амсилаи классикии Стритер ва Фелпс
таносуби (K_{OX}/K_{TOB}) ҳамчун доимии худ-

тозашавии поксозӣ муайян мекунад ва он ба 0,50–5,0 баробар аст [10].

Суръати нитрификатсия ва денитрификатсия аз ҳарорат ва дараҷаи рН обҳои рӯйзаминӣ вобаста аст. Масалан, раванди денитрификатсия ҳангоми рН дар ҳудуди 7,0-8,2 будан ба сатҳи максималӣ мерасад. Вақте, ки дараҷаи рН аз 6,1 ё баландтар аз 9,6 мебошад, ин раванд қатъ мегардад. Минерализатсияи нитроген ҳамчун табдили нитрогени органикӣ ба ғайриорганикӣ ҳисобида мешавад.

Пеш аз ҳама, суръати таназзул ба амсилаи худтозашавӣ ҳамчун доимӣ дохил карда шуданд. Аммо натиҷаҳои ҳисобҳои ададӣ аз ченакҳои табиӣ хеле фарқ мекунаманд. Ин метавонад бо тағйирёбии назарраси мавсимии ин ҳисобҳо алоқаманд бошад.

Алгоритми ҳисоб кардани суръати поёнравии тамоюл дар асоси маълумотҳо бароварда мешавад. Дар асоси муодилаи (1), ки ҳамчун система навишта мешавад, ва шаш муодилаи дигар барои тағйирёбандаҳои оянда, яъне концентратсияи пайвастагиҳои фосфор (C_{DOP} , C_{PO_4}), пайвастагиҳои аммоний (C_{NH_4}), талабот ба оксигени биохимиявӣ (C_{org}) ва оксигени ҳалшуда (C_{O_2}) коркард мешаванд.

Минбаъд муодилаҳои суръати тағйирёбии биохимиявӣ бо роҳи коркарди алгебравӣ бо системаи қаблӣ ба даст оварда мешаванд. Ниҳоят арзишҳои муодилаҳо аз рӯи нақшаи ададӣ навишта мешаванд. Дар натиҷаи татбиқи алгоритм системаи шаш муодилаи ададӣ ба даст оварда мешавад:

1) Зариби минерализатсияи умумии фосфор:

$$K(t)_{PO_4} \frac{1}{C_{DOP}} \cdot \left(- \frac{d(C_{PO_4})}{dt} - \frac{1}{\omega} \cdot \frac{d(Q(t) \cdot C_{PO_4})}{dr} + G(t)_{PO_4} \right) \quad 2)$$

2) Зариби минерализатсияи умумии нитроген: м

2) Зариби минерализатсияи умумии нитроген:

$$K_{NH_4}(t) \frac{1}{C_{DON}} \cdot \left(- \frac{d(C_{DON})}{dt} + \frac{1}{\omega} \cdot \frac{d(Q(t) \cdot C_{DON})}{dr} + G(t)_{DON} \right) \quad 3)$$

3) Зариби нитрофикатсия:

$$K(t)_{12} = \frac{1}{C_{NH_4}} \cdot \left(- \frac{d(C_{NH_4})}{dt} - \frac{1}{\omega} \cdot \frac{d(Q(t) \cdot C_{NH_4})}{dr} + G(t)_{NH_4} + K(t)_{NH_4} \cdot C_{DON} \right) \quad 4)$$

4) Зариби денитрофикатсия:

$$K(t)_{NO_3} = \frac{1}{C_{NO_3}} \cdot \left(- \frac{d(C_{NO_3})}{dt} - \frac{1}{\omega} \cdot \frac{d(Q(t) \cdot C_{NO_3})}{dr} + G(t)_{NO_3} + K(t)_{12} \cdot C_{NO_3} \right) \quad 5)$$

5) Зариби таназзули биохимиявӣ:

$$K(t)_{BOD} = \frac{1}{C_{org}} \cdot \left(-\frac{d(C_{org})}{dt} - \frac{1}{\omega} \cdot \frac{d(Q(t) \cdot C_{org})}{dr} + K(t)_{NO_3} \cdot C_{NO_3} \cdot \beta_{O_2/DN} \right) \quad 6)$$

6) Зариби табодули баргарданда:

$$K(t)_{O_2} = \frac{1}{C_{O_2}} \cdot \left(-\frac{d(C_{O_2})}{dt} - \frac{1}{\omega} \cdot \frac{d(Q(t) \cdot C_{O_2})}{dr} + K(t)_{12} \cdot C_{NH_4} \cdot \beta_{O_2/NT} \right) \quad 7)$$

дар ин ҷо $\beta_{O_2/DN}$) – омили ҳолис буда, миқдори оксигенро, ки барои денитрификатсия истифода мешавад (gO_2/gN), $\beta_{O_2/DN}$) омили ҳосилнокӣ маҳсуб ёфта, барои тавсифи миқдори оксигени (gO_2/gN) истифода мешавад.

Қимати фазову вақти муодилаҳои 2 – 7 бо назардошти муодилаи 1 мебошад.

Дар ҳолати сард будани ҳаво боришоти зиёди барф ба амал омада, обшавии пиряхҳо коҳиш меёбанд, ва дар ин марҳила нишондиҳандаи афзоиши ҳиссаи обҳои зеризаминӣ низ маҳсуб меёбад.

Дар фасли баҳору тобистон ин нишондодҳо аз сабаби таъсири боришоти борон хеле паст мегардад. Ҳаҷми обҳои зеризаминӣ бо истифода аз таҳлили гидрохимиявии сифати обҳои рӯизаминии дарё ҳисоб карда мешавад.

Вобаста ба таҳлили масоили мазкур, ҷиҳати тадбиқи амсилаи биохимиявии раванди худтозашавии об ва муайян намудани тозашавии об дар сарчашмаҳо аз ҷониби мо таҷрибаҳо дар соҳили дарёи Варзоб гузаронида шудааст.

Барои ин маҷро, масофа ва нуқтаҳои таҷрибагузарониро интихоб намудем. Пас аз он, барои ҳар нуқтаи масофаи чараёни дарё зариби ислохро вобаста аз мавқеъ ва қаъри дарё интихоб намуда, суръати миёнаи ҷоришавии обро аз рӯи формулаи (8) дар масофаи таҷрибагузаронӣ муайян намудем.

$$v_m = v_{max} \cdot K \quad (8)$$

дар ин ҷо К- зариби ислох вобаста аз сохти дарё, ки он, тибқи меъёрҳои муайяншуда ба: 0,55; 0,65; 0,85 баробар буда, v_{max} - суръати ҷоришавии об мебошад. Суръати ҷоришавии обро дар се қисмати дарё, қанорҳои чаппу рост ва миёнаҷояш чен намудем. Қимати суръати ҷоришавии об вобаста ба дарозӣ, барои масофаи $S=31$ м ба $v_{max}=1,19$ м/с, барои масофаи $S=23$ м ба $v_{max}=0,82$ м/с баробар мебошад.

Қимати миёнаи суръати ҷоришавии об вобаста ба сохти дарё барои масофаи $S=31$ м ва $K=0,65$ будан, $v_m=1,24$ м/с, барои масофаи $S=23$ м ва $K=0,85$ будан $v_m=0,697$ м/с ташкил медиҳад.

Инчунин суръати миёнаи ҷоришавии об бо усули дигар аз рӯи формулаи (9) низ муайян намудан имконпазир мебошад:

$$v_m = \left[1 - 0,116 \left(\frac{\sqrt{H \cdot h}}{H} - 0,1 \right) \right] \cdot v \quad 9)$$

дар ин ҷо Н-чуқурии дарё аз сатҳи об; h- чуқурии воридшавии ҷубҷаи гидрометрикӣ; ва v-суръати ҷоришавии об мебошанд.

Дар натиҷаи таҳлилҳо муайян карда шуд, ки ҳисобкуниҳо аз рӯи формулаи (9) низ то саҳеҳии 2% ба ҳисобкуниҳои формулаи (8) рост меояд (ҷадвали 1).

Ҷадвали 1. Натиҷаи ҳисобкуниҳои v_m аз рӯи муодилаҳои (8) ва (9).

Нишондиҳандаҳо	Ҳисобкуниҳои бо формулаи (8)	Ҳисобкуниҳои бо формулаи (9)	Фарқият, %
$S=31\text{ м}$ ва $K=0,65$	1,24 м/с,	1,26 м/с	2
$S=23\text{ м}$ ва $K=0,85$	0,697 м/с	0,70 м/с	1,5

Масоҳати буриши кундалангии дарё аз рӯи формулаи (10) ҳисоб карда мешавад:

$$F = \pi r^2 / 2 \quad (10)$$

дар ин ҷо r -радиуси нимдавраи дарё мебошад. Дар натиҷаи ҳисобкуниҳо қимати $F=100,48\text{ м}^2$ баробар шудааст.

Барои муайян намудани сарфи об аз масоҳати буриши кундалангии дарё формулаи $Q = F \cdot V_{cp}$. (11) истифода бурда, қимати онро ҳисоб намудем.

Дар натиҷаи ҳисобкуниҳо қиматҳои зерин ба даст оварда шуд: барои масофаи $S=31\text{ м}$ ва $K=0,65$ будан, $v_m=1,24\text{ м/с}$, $Q=124,59\text{ м}^3/\text{с}$ ва барои масофаи $S=23\text{ м}$ ва $K=0,85$ будан $v_m=0,697\text{ м/с}$, $Q=70,03\text{ м}^3/\text{с}$ ташкил медиҳад.

Таҳлили натиҷаи ченкуниҳо нишон медиҳанд, ки ифлосшавии об дар сарчашмаҳо бештар аз қиматҳои (v_m) ва (Q) алоқамандӣ дошта, ҳангоми каму зиёд будани онҳо раванди ифлосшавӣ об бештар ба мушоҳида мерасад.

Аз натиҷаи таҳқиқотҳои гузаронидашуда ҳулосаҳои зерин коркард ва пешниҳод мегарданд:

Ҳулоса

1. Дар мавриди пешгирии ифлосшавии об истифодаи имкониятҳои гуногуни биологӣ дар шароити ҳавзаи дарёи Варзоб аз манфиат ҳолӣ нест. Амалан, тамоми гуногуниҳои биологӣ дар равандҳои ташаккулёбии об, худтозашавии низоми экологии об, ё ин ки дар ба танзимдори равандҳои мазкур фаъолон ширкат меварзанд.

2. Натиҷаҳои коркарди амсилаи биохимиявии раванди худтозашавии об ни-

шон медиҳад, ки ифлосшавии об дар аксарият мавридҳо бештар аз қимати (Q) вобастагӣ дошта, ҳангоми зиёд будани қимати он раванди ифлосшавии об бештар мебошад.

3. Дар раванди худтозашавии об намудҳои гуногуни низоми экологии рӯйзаминӣ ва мавқеи Пизогрии он фаъолон иштирок намуда, ҷиҳати нигоҳ доштани тозагӣ ва сифати об зарур аст, ки тамоми гуногуниҳои муҳити атроф ҳифз карда шаванд.

4. Барои муайян намудани сарбории ниҳони критикӣ ба низоми мушаххаси экологӣ зарур аст, ки коҳишёбии равандҳои худтозашавии низоми экологӣ ба инобат гирифта шаванд.

5. Дар раванди худтозашавии об оид ба дурнамои моддаҳои ифлоскунандаи афзалиятдошта, аз қабili нишондиҳандаҳои радиологӣ ба мақсад мувофиқ мебошад, агар онҳо низ мавриди таҳқиқ қарор дода шаванд.

Адабиётҳо

1. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / Г. И. Марчук. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
2. Кичигин, В.И. Моделирование процессов очистки воды : учебное пособие / В.И. Кичигин. – М. : Изд-во АСВ, 2003. – 230 с.
3. Барская И.В., Лукашевич О.Д. Технологическое моделирование процесса очистки воды от соединений железа/ Вестник ТГАСУ № 3, 2008, с.175-180.
4. Остроумов С.А. Биологический механизм самоочищения в природных водоемах и водотоках: теория и приложения / Успехи современной биологии. 2004. т.124. №5. с.429-442.
5. Кондрашин К.Г. Процессы самоочищения природных вод и их лабораторная модель // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 2. С. 107—

115. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-2-107-115>
6. М.Д. Михайлов. Об одной модификации модели Стритера – Фелпса и ее численной реализации с помощью многопроцессорных вычислительных систем / Вестник Томского государственного университета 2010, Раздел математика и механика № 1(9). С.39-46
7. Остроумов С.А. Гидробионты как фактор регуляции потоков вещества и миграции элементов в водных экосистемах / Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т.5, №2, 2003. с.249-255. <http://www.scribd.com/doc/57635187>.
8. Подлипенская Л. Е., Бакуменко Ю. С. Исследование процессов эвтрофикации и самоочищения водоемов / Экологический вестник Донбасса 2021. № 1, с.10-18.
9. Вавилин В.А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках. М.: Наука, 1981. 160 с.
10. Готовцев А.В., Модификация системы Стритера–Фелпса с целью учета обратной связи между концентрацией растворенного кислорода и скоростью окисления органического вещества, ISSN 0097-8078, Водные ресурсы, 2010, Т. 37, № 2, С. 245–251.

РАЗРАБОТКА БИОХИМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА САМООЧИЩЕНИЯ ВОДЫ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ВАРЗОБ

Толибова У.О.^{1,*}, Холназарова З.Д.¹, Амирзода О.Х.¹

¹Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана
 *Автор-корреспондент: E-mail: u.tolibova@mail.ru

Аннотация. В данной статье на примере реки Варзоб проведено исследование по биохимическому моделированию процесса самоочищения воды. Установлено, что загрязнение воды в большинстве случаев зависит от величины расхода воды (Q): при увеличении расхода наблюдается рост загрязнённости. На основе результатов исследования предложено, что для усиления процессов самоочищения необходимо активизировать все виды поверхностных экологических систем и среды их обитания. Кроме того, для поддержания чистоты и качества воды требуется сохранение биологического разнообразия окружающей среды.

Ключевые слова: биохимическая модель, процесс самоочищения воды, биологическое разнообразие, окисление кислорода, биохимическая потребность в кислороде, коэффициент изменчивости.

DEVELOPMENT OF A BIOCHEMICAL MODEL OF THE WATER SELF-PURIFICATION PROCESS: A CASE STUDY OF THE VARZOB RIVER

Tolibova U.O.^{1,*}, Kholnazarova Z.D.¹, Amirzoda O.Kh.¹

¹Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology, of the National Academy of Sciences of Tajikistan
 *Corresponding – author: E-mail: u.tolibova@mail.ru

Abstract. This study presents biochemical modeling of the water self-purification process using the Varzob River as a case study. It was determined that water pollution at the source is largely influenced by the water discharge rate (Q); an increase in discharge is generally associated with a rise in pollution levels. Based on the research results, it is proposed that enhancing the self-purification process requires the activation of all types of surface ecological systems and their habitats. Furthermore, preserving water quality depends on the protection of biodiversity in the surrounding environment.

Keywords: biochemical model, water self-purification process, biodiversity, oxygen oxidation, biochemical oxygen demand, variability coefficient.

Маълумот дар бораи муаллифон: Толибова Умеда Олимовна, унвонҷӯи Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, Тел.: (+992)987200462, E-mail: u.tolibova@mail.ru; Холназарова Зебунисо Диловаровна, Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, Тел.: (+992)937940394, E-mail: zebuniso2020@mail.ru; Амирзода Ориф Хамид, доктори илмҳои техники, дотсент, Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ. тел.: (+992) 987387272, E-mail: orif2000@mail.ru

Сведения об авторах: Толибова Умеда Олимовна, соискатель Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, тел.: 987200462, E-mail: u.tolibova@mail.ru; Холназарова Зебунисо Диловаровна, докторант PhD Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, тел.: 937940394, E-mail: zebuniso2020@mail.ru; Амирзода Ориф Хамид, доктор технических наук, доцент, Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии, НАНТ. тел.: 987387272, E-mail: orif2000@mail.ru

Information about the authors: Tolibova Umeda Olimovna, graduate student of the Institute of water problems, hydropower and ecology, of the National Academy of Sciences of Tajikistan, tel: 987200462, E-mail: u.tolibova@mail.ru; Kholnazarova Zebuniso Dilovarova, doctor PhD of the Institute of water problems, hydropower and ecology, of the National Academy of Sciences of Tajikistan tel.: 937940394, E-mail: zebuniso2020@mail.ru; Amirzoda Orif Hamid, Doctor of technical Sciences, Institute of water problems, hydropower and ecology, of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Doctor of Technical Sciences, Dotsent, tel.: (+992) 93 728 7272, E-mail: orif2000@mail.ru

УДК 626/627

АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОСОБЕННОСТИ ВМЕЩАЮЩЕГО МАССИВА РОГУНСКОЙ ПРАВОБЕРЕЖНОЙ АТИПИЧНОЙ ЗОНЫ

Мирзоева Б.М.^{1,*}

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

*Автор корреспонденции. Email: bunafshamir@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются обобщение упругих и деформационных характеристик, свойств сохранного массива, зон выветривания и зон тектонических нарушений для различных инженерно – геологических элементов выполненных комплексом геотехнических, геомеханических, геофизических и лабораторных исследований, по результатам, которых выявлено, что атипичная геологическая обстановка в теле атипичной зоны вызвана тектонической деформацией, а не сползанием древнего оползня. Структурный изгиб находится глубоко внутри откоса и тектоническое происхождение считается более благоприятным для стабильности откоса. Также в статье приведены исследования водопроницаемости вмещающего массива горных пород в теле атипичной зоны тестом Люжона по скважинам, по результатам которого выявлено, что вмещающий массив является средне водопроницаемым.

Ключевые слова: атипичная зона, упругость, деформация, геодезия, геофизика, геотехника, исследование, тектоника, водопроницаемость, тест Люжона, массив, горные породы.

Введение

Упруго-прочностные характеристики массива горных пород является одной из наиболее важных инженерно - геологических параметров, влияющих на надёжность проектирования и строительство гидротехнических сооружений. Геологические структуры, разрывы и степень выветривания массива горных пород в конечном итоге влияют на качество возведения сооружения и её дальнейшей эксплуатации.

После возобновления работ в 2008 году при возведении объектов Рогунской ГЭС, на участке атипичной зоны или АТПЗ расположенной на правобережном речном склоне ниже тела плотины (рисунки 1) для определения упругих и де-

формационных характеристик и свойств сохранного массива, зон выветривания и зон тектонических нарушений для различных инженерно – геологических элементов были выполнены комплекс геотехнических, геомеханических и лабораторных исследований. Также были выполнены геофизические исследования с применением сейсмических (наземное сейсмопрофилирование) и ультразвуковых методов (ультразвуковые исследования кернов) [1 - 4].

Изменение геологической обстановки в теле атипичной зоны вызванной тектонической деформации приводит к формированию объёмных и разнонаправленных растягивающих напряжений в горных породах [5 - 8].

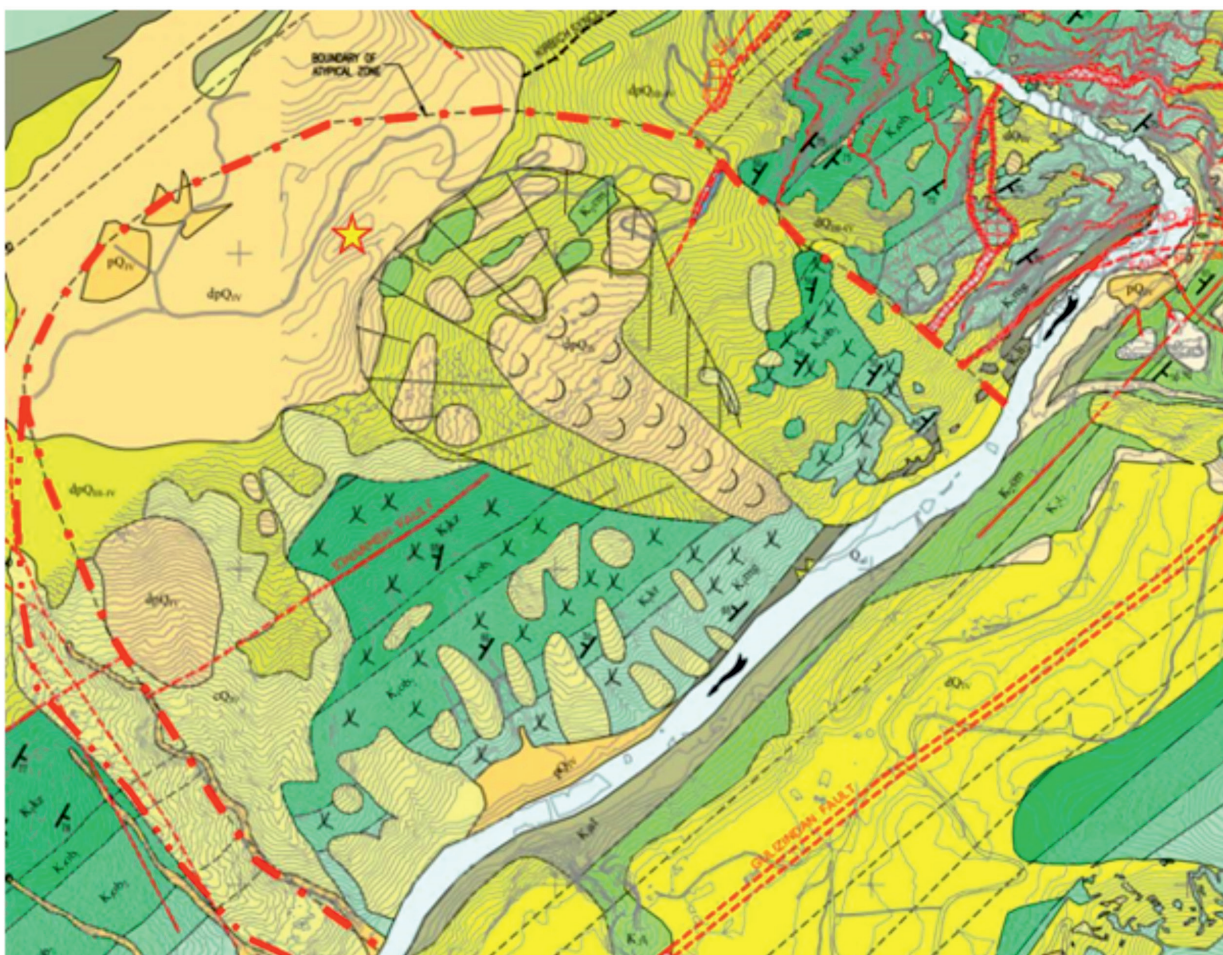


Рисунок 1. Геологическая карта АТПЗ.

Целью исследования и анализа является выявления характерной особенности и динамики развития геологической обстановки в теле атипичной зоны вызванной тектонической деформацией, а не сползанием древнего оползня.

Участок АТПЗ характеризуется двумя атипичными морфологическими и структурными особенностями, которые не проявляются вне этой зоны:

- крутопадающий откос, расположенный между Ионахшским разломом и рекой Вахш, характеризуется атипичным направлением падения пластов осадочных пород под углами от умеренных до крутых в направлении северо-запада (за

пределами АТПЗ направление падения пластов осадочных пород - юго-восток, рисунок 1);

- участок откоса над Ионахшским разломом (рисунок 1) - это первый крутопадающий откос с плоскостями напластования, имеющими направление падения внутрь откоса, но при этом он отличается доминированием довольно пологой и неровной морфологии, влияние на которую оказывают отложения гипса сеноманской свиты (K_2^{cm} , период нижнего верхнемелового слоя). Очень характерными являются провалы, представляющие собой карстовое выщелачивание гипса (рисунок 2).



Рисунок 2. Верхняя часть АТПЗ (над Ионахшским разломом) отличается морфологией с большими провалами.

Помимо этих двух основных характеристик и атипичных особенностей, необходимо обратить внимание на следующее:

- на всем откосе ниже Ионахшского разлома и, в некоторой мере, выше его присутствует сильно нарушенный и разрыхленный горный массив с закрытыми трещинами, несмотря на то, что пласты осадочных пород еще очень хорошо сохранны и заметны;

- из-за нарушения коренного массива имеется мощный пласт разрыхленного вскрышного материала на поверхности АТПЗ, который обладает подвижностью, который может привести к образованию вторичных оползней.

Еще один важный параметр вмещающего массива горных пород – гидравлическая проводимость пород – тесно связанных со свойствами разрывов и трещин. Таким образом, одним из основных вопросов исследований массива горных пород, где возводятся гидротехнические сооружения, являются оценки взаимосвязи между свойствами разрывов и гидравлическим поведением массива горных пород. Гидравлическое испытание, или испытание по методу Люжона, также известное как «пакерное испытание», является одной из наиболее распространенных методик, используемых для оценки проницаемости горной породы [9].

Методы исследования

Для изучения и уточнения геологической структуры, физико-механических параметров, упруго-прочностных характеристик и водопроницаемости вмещающего массива горных пород правобережной атипичной зоны Рогунской ГЭС были произведены бурения в количестве 4 – х скважин разной глубины (IF – 1 (115 м), WRB – 1 (110 м), WRB – 2 (217,2 м) и DZ – 2 (166,2 м)). Схема расположения скважин IF - 1, WRB – 1, WRB – 2 в атипичной зоне приведена на рисунке 3.

Во время колонкового бурения были проведены испытания на проницаемость с помощью пакера в теле оползневого массива непосредственно в вертикальных и наклонных скважинах в нисходящей последовательности. Основная цель испытаний заключалась в определении водопроницаемости массивов горных пород.

Поинтервальные пакерные опробования выполняются для изысканий и изучения фильтрационных характеристик трещиноватых пород по стволу скважины в зоне размещения объектов гидротехнического сооружения.

Пакерные опробования на строительстве объектов Рогунской ГЭС часто применяются для оценки качества выполненных цементационных работ в поземных сооружениях, для определения фильтрационных характеристик противофиль-

традиционной завесы и водопроницаемости вмещающего массива в теле правобережной атипичной зоны.



Рисунок 3. Схема расположения скважин IF - 1, WRB – 1, WRB – 2 в атипичной зоне.

Существует несколько методик для проведения поинтервальных опробований с использованием пакеров. Одной из наиболее распространенной методики является тест Люжона [10]. Суть теста Люжона заключается в следующем: пакерным оборудованием изолируется отдельный интервал скважины. Далее осуществляется непрерывное нагнетание воды в интервал ступенями в 1-2 атмосферы. Как правило, проводят до 5-6 ступеней наращивания, а затем снижают давление. При этом на каждой ступени фиксируется расход нагнетаемой жидкости. Тест назван в честь Мориса Люжона, швейцарского

геолога, который сформулировал метод в 1933 году ($1 \text{ л} / (\text{мин} \times \text{м}^2) = 100 \text{ люжон}$ [11]).

Результаты исследования

Проницаемость породы измеряют по шкале Люжона приведённой в таблице 1.

Отметим, что успешное проведение пакерных испытаний по методике Люжона требует строгого выполнения ряда последовательных действий, контроля герметичности пакеров во время проведения экспериментов, а также соблюдения допустимых давлений для подачи на подушки пакера и в опробуемый интервал [12].

Таблица 1. Шкала Люжона.

№ п/п	Значение Люжона, Lu	Степень проницаемости
1	0 - 3	непроницаемость
2	3 - 10	низкая проницаемость
3	10 - 30	средняя проницаемость
4	30 - 60	высокая проницаемость
5	> 60	очень высокая проницаемость

Поинтервальные и средние значения Люжона по скважинам IF - 1, WRB - 1 и WRB - 2 для определения водопроницаемости массива горных пород атипичной зоны (фильтрационные характеристики) представлены в таблицах 2 - 4.

Таблица 2. Результаты тест Люжона по скважине IF-1.

IF - 1					
Интервал		Q	P	Люжон	Непрерывность
от	до	лит/мин/м	бар	величина	Режим
42	47	9.14	4.74	19	Ср. прониц.
47	52	20.4	4.97	41	Высок. прониц.
52	57	34.06	21	16	Ср. прониц.
57	62	23.89	9.89	24	Ср. прониц.
62	67	32.48	21.86	15	Ср. прониц.
67	72	0.42	6.89	1	Непрониц.
72	77	21.22	7	30	Высок. прониц.
77	82	3.18	11.73	3	Низк. прониц.
82	87	25.18	30.7	8	Низк. прониц.
87	92	3.05	18.33	2	Непрониц.
92	97	3.78	18.78	2	Непрониц.
97	102	0.2	19.19	1	Непрониц.
102	107	1.51	19.63	1	Непрониц.
107	112	1.62	20.03	1	Непрониц.
112	115	3.25	20.38	2	Непрониц.
Средняя величина Люжона				11,1	Ср. прониц.

Таблица 3. Результаты теста Люжона по скважине WRB - 01.

WRB - 01					
Интервал		Q	P	Люжон	Непрерывность
от	до	лит/мин/м	бар	величина	Режим
60	65	33.58	13.16	25	Ср. прониц.
65	69.9	34.94	14.07	25	Ср. прониц.
69.9	74.9	34.78	15.05	23	Ср. прониц.
74.9	79.9	34.08	17.06	20	Ср. прониц.
79.9	84.9	34.60	16.52	21	Ср. прониц.
84.9	90	33.40	18.08	18	Ср. прониц.
90	95	34.02	17.52	19	Ср. прониц.
95	100	33.98	18	19	Ср. прониц.
100	105	17.88	11.01	16	Ср. прониц.

105	110	29.76	20.13	15	Ср. прониц.
Средняя величина Люжона				20,1	Ср. прониц.

Таблица 4. Результаты тест Люжона по скважине WRB - 02.

WRB - 02					
Интервал		Q	P	Люжон	Непрерывность
от	до	лит/мин/м	бар	величина	Режим
40	45	30.2	28.89	10.45	Ср. прониц.
130	135	26.12	27.75	9.41	Низк. прониц.
152.5	157.7	30.32	19.22	15.78	Ср. прониц.
157	162	25.48	19.88	12.82	Ср. прониц.
167	172	7.36	21.4	3.44	Низк. прониц.
177	182	15.52	22.2	6.99	Низк. прониц.
187	192	4	23.46	1.71	Непрониц.
192	197	2.9	24	1.21	Непрониц.
197	202	3.88	24.5	1.51	Непрониц.
202	207	4.06	25.08	1.62	Непрониц.
Средняя величина Люжона				6,5	Низк. прониц.

Всего в ходе инженерно-геологических изысканий было проведено 35 тестов Люжона. Значения Люжона, определенные в результате испытания Люжона, косвенно отражают состояние разрывов в массиве атипичной зоны.

Таким образом, испытание тестом Люжона по скважинам IF - 1, WRB – 1, WRB – 2 позволили изучить водопроницаемости вмещающей породы правобережной атипичной зоны Рогунской ГЭС. По результатам проведенного испытания выявлено, что вмещающий массив правобережной атипичной зоны Рогунской ГЭС является средне водопроницаемым.

Обсуждение результатов. Обратная последовательность заложения пород мезозойской эры, которые формируют правобережный откос ниже плотины, не является следствием сползания древнего оползня, а результатом соляной тектоники в виде диапира.

Исходя из имеющихся данных и полевых геодезических наблюдений можно сказать, что ничто не свидетельствует о наличии неблагоприятной существующей ранее несплошности, которая может

привести к значительному структурному обрушению откоса. Тем не менее, рекомендуется предусмотреть меры по снижению риска (изменение формы откоса, дренаж) для тех участков, где есть свидетельства о неустойчивости.

Оценка общей устойчивости откоса в условиях контролируемых напряжений может быть основана на следующих элементах: структурное строение благоприятно для стабильности; медленная тектоническая деформация, отдается предпочтение сравнению с моделью древнего оползня, более благоприятна для стабильности откоса; есть условия для повышения порового давления в атипичной зоне. Поэтому рекомендуется спроектировать соответствующую дренажную систему для основного откоса ниже по течению предложенного створа плотины.

Учитывая геологическое происхождение, скорость смещения и объем нарушенного горного массива АТПЗ, остановка этого процесса представляется вряд ли возможной. В противоположность этому стоит отметить некоторые факторы - атмосферные осадки (дожди), гидрогео-

логические условия (от воздействия водохранилища), сейсмичность или антропогенное воздействие, например, земляные работы у подножия откоса - поскольку они будут негативно влиять на стабильность откосов.

Оползневые массивы и геологические атипичные зоны повышенной трещиноватости поглощают большой объём дождевых осадков в условиях аномальных проливных осадков. Под действием гравитационных сил эта может привести к сползанию массива горных пород. В этих условиях создание системы мониторинга по определению повышения уровня грунтовых вод в теле атипичной зоны и оползневых массивах с применением измерения распределения температуры в пьезометрических скважинах является актуальной проблемой [13, 14].

Выводы

1. Из анализа геологических и геофизических исследований следует, что атипичная геологическая обстановка вызвана тектонической деформацией, а не крупным оползнем. При условии, что структурный изгиб находится глубоко внутри откоса, тектоническое происхождение считается более благоприятным для стабильности откоса.

2. Объемы выветренных, мягких материалов, висящих на откосе в нестабильном положении, ограничены. Обрушение таких материалов не рассматривается как серьезная угроза для осуществимости проекта Рогунской ГЭС.

3. Размыв дождевыми водами и просачивание воды сверху привели к интенсивной поверхностной эрозии откосов нижерасположенного правого берега, непосредственно над рекой Вахш, вероятно, также совместно с некоторым провисанием под воздействием силы тяжести.

4. Испытание тестом Люжона по скважинам в теле атипичной зоны позволили изучить водопроницаемости вмещающих пород. По результатам проведённых

испытаний выявлено, что вмещающий массив правобережной атипичной зоны Рогунской ГЭС является средне водопроницаемым.

5. Создание системы мониторинга по определению повышения уровня грунтовых вод в теле атипичной зоны и оползневых массивах с применением измерения распределения температуры в пьезометрических скважинах является актуальной проблемой.

Литература

1. Давлатшоев С.К. Контроль качества цементационных работ вмещающего массива в опытном участке методом сейсмического каротажа. Гидротехническое строительства, №2, 2020., -С. 52 - 56.
2. Давлатшоев С.К. Исследование качества цементационных работ вмещающего массива подземных сооружений ультразвуковым методом. Гидротехническое строительства, №4, 2020. -С. 2 - 7.
3. Davlatshoev S. K. Quality control of cementation operation performed in country massif in a test section by seismic well logging. Power Technology and Engineering, vol. 54, No. 2, July, 2020. Pp. 199-203. <https://doi.org/10.1007/s10749-020-01191-1>.
4. Davlatshoev S. K. Ultrasound study of the quality of consolidation grouting works retaining rocks in underground structures logging. Power Technology and Engineering, vol. 54, No. 3, September, 2020. Pp. 332-336. <https://doi.org/10.1007/s10749-020-01211-0>.
5. Давлатшоев С.К. Оценка качества укрепительной цементации вмещающего массива песчаников в условиях растягивающих напряжений. Гидротехническое строительство, №12, 2021. -С. 15-20.
6. Давлатшоев С.К. Влияние объёмного нагружения скальных пород подземного помещения на процесс релаксации самонапряжённого состояния алевролитового массива. Гидротехническое строительство, №1, 2022. -С. 6-12.
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. 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>.
9. Houlby, A., 1976. Routine Interpretation of the Lugeon Water-Test. Q. J. Eng. Geol. Vol. 9, pp. 303-313.
 10. Lancaster-Jones P. F. F. The interpretation of the Lugeon water-test // Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology 1975. Vol. 8. N 2. P. 151—154.
 11. Yihdego, Yohannes. “Hydraulic In Situ Testing for Mining and Engineering Design: Packer Test Procedure, Preparation, Analysis and Interpretation.” Geotechnical and Geological Engineering 35, no. 1 (November 1, 2016): 29–44. doi:10.1007/s10706-016-0112-9.
 12. Moye D.G. Diamond drilling for foundation exploration. Civil Eng. Trans., Inst. Eng. Australia. 1967, pp 95–100.
 13. Давлатшоев С.К., Амирзода М.Х., Мирзоева Б.М. Термометр-тепломер. Часть 1. Измерения теплового потока в пьезометрических скважинах. Журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» - Душанбе: ИМОГЭЭ, 2024, №4(1). –С. 91-98.
 14. Давлатшоев С.К., Амирзода М.Х., Мирзоева Б.М. Термометр-тепломер. Часть 2. Определение метрологических характеристик. Журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» - Душанбе: ИМОГЭЭ, 2024, №4(2). –С. 86-91.

ТАҲЛИЛИ ХУСУСИЯТҲОИ ГЕОЛОГИИ МАССИВИ МИНТАҚАИ АТИПИКИИ СОҲИЛИ РОСТИ РОГУН

Мирзоева Б.М.^{1,*}

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

*Муаллифи масъул. Email: bunafshamir@gmail.com

Аннотатсия. Дар мақола ҷамъбасти хусусиятҳои эластикӣ ва деформатсионӣ, хосиятҳои массиви нигоҳдошташуда, минтақаҳои бодхурда ва минтақаҳои шикасти тектоникӣ барои унсурҳои гуногуни муҳандисии геологӣ, ки тавассути маҷмӯи тадқиқотҳои геотехникӣ, геомеханикӣ, геофизикӣ ва лабораторӣ анҷом дода шудаанд, баррасӣ карда шудааст, ки дар натиҷаи онҳо муқаррароти геологӣ атипикӣ дар бадани минтақаи атипикӣ, на аз лағжидани ярҷҳои қўҳан, балки аз натиҷаи деформатсияи тектоникӣ ба вуҷуд омадааст. Сохтори қачи дар амиқи нишеби чойгир бошад, пайдоиши тектоникӣ барои устувории нишеби мусоидтар доништа мешавад. Дар мақола инчунин омӯзиши гузариши массиви ҷинсҳои қўҳӣ дар ҷисми минтақаи атипикӣ бо истифода аз санҷиши Лужон дар чоҳҳо оварда шудааст, ки дар натиҷаи он маълум шуд, ки обгузаронандагии массив ба дараҷаи миёна баробар аст.

Калидвожаҳо: минтақаи атипӣ, чандирӣ, деформация, геодезия, геофизика, геотехника, тадқиқот, тектоника, обгузаронандагӣ, озмоиши Лужон, массив, ҷинсҳо.

ANALYSIS OF THE GEOLOGICAL FEATURE OF THE HOST MASSIF OF THE ROGUN RIGHT-BANK ATYPICAL ZONE

Mirzoeva B.M.^{1,*}

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

*Corresponding author. Email: bunafshamir@gmail.com

Abstract. The article considers the generalization of elastic and deformation characteristics, properties of the preserved massif, weathering zones and zones of tectonic disturbances for various engineering and geological elements performed by a complex of geotechnical, geomechanical, geophysical and laboratory studies, according to the results of which it was revealed that the atypical geological setting in the body of the atypical zone is caused by tectonic deformation, and not by the sliding of an ancient landslide. The structural bend is located deep inside the slope and the tectonic origin is considered more favorable for the stability of the slope. The article also presents a study of the permeability of the host rock mass in the body of the atypical zone using the Lujon test on wells, according to the results of which it was revealed that the host mass is moderately permeable.

Keywords: atypical zone, elasticity, deformation, geodesy, geophysics, geotechnics, research, tectonics, permeability, Lujon test, massif, rocks.

Сведения об авторах: Мирзоева Бунафша Мирзоевна – Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, докторант PhD. Адрес: 734018, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Н. Ганжави 371/2 кв.2. Телефон: (+992) 203-11-11-66. Email: bunafshamir@gmail.com.

Маълумот дар бораи муаллиф: Мирзоева Бунафша Мирзоевна – Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, докторанти PhD. Суроға: 734018, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, куч. Н. Ганҷави 371/2 хон.2. Телефон: (+992) 203-11-11-66. E-mail: bunafshamir@gmail.com.

Information about the author: Mirzoeva Bunafsha Mirzoevna – Institute of water problems, hydropower and ecology, doctoral student or PhD. Address: 734018, Republic of Tajikistan, Dushanbe city, st. N. Ganjavi 371/2 apt. 2. Phone: (+992) 203-11-11-66. Email: bunafshamir@gmail.com.

УДК 627.86; 556.16

АРЗЁБИИ ХУСУСИЯТҲОИ ХОСИ КАНАЛҲОИ ОБӢ ВА САҲМИ ОНҲО ДАР ИДОРАКУНИИ ЗАХИРАҲОИ ОБӢ

Мирзоев А.А.^{1,*}

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

*Муаллифи масъул. E-mail: ahliddinmirzoev95@mail.ru

Шарҳи мухтасар. Омӯзиши каналҳои обӣ барои рушду такомули илмҳои гидрологӣ саҳми арзанда мегузорад. Саҳми каналҳо дар идоракунии захираҳои обӣ аҳамияти муҳими илмӣ дошта, мавзӯи мубрам маҳсуб меёбад. Вобаста ба ин, дар мақолаи мазкур хусусиятҳои хоси каналҳои обӣ ва саҳми онҳо дар идоракунии захираҳои обӣ вобаста аз хусусиятҳои географӣ баррасӣ гардидааст. Муаян карда шудааст, ки каналҳо дар рушди иқтисодиёти миллии саҳми арзанда доранд ва идоракунии устувори онҳо ба рушди устувори кишвар мусоидат мекунад.

Калидвожаҳо: каналҳои обӣ, объектҳои обӣ, гидрология, пирах, дарё, қӯл, обанбор, иқлим, иншооти гидротехникӣ, канали калони Ҳисор.

Муқаддима

Каналҳои обӣ унсuri асосии инфрасохтори идоракунии захираҳои обӣ маҳсуб ёфта, дар таъмини об, обёрӣ, пешгирии обхезӣ ва нигоҳ доштани мувозинати экологӣ нақши муҳимро мебозанд. Омӯзиши хусусиятҳо ва саҳми онҳо дар идоракунии захираҳои обӣ имконият медиҳад, ки аҳамияти онҳоро барои рушди устувори иқтисоди миллии арзёбӣ намоем.

Объектҳои обӣ, амсоли дарёҳо, қӯлҳо, обанборҳо, пирахҳо ва обҳои зеризаминӣ манбаи асосии захираҳои обӣ маҳсуб ёфта, эҳтиёҷоти ҳаётан муҳими инсон, иқтисодиёт ва экосистемаро таъмин мекунанд. Хусусиятҳои гуногуни онҳо дар раванди идоракунии захираҳои обӣ муайян шуда, омӯзиши объектҳои обӣ ҷанбаи асосии рушди устувори саҳми кишоварзӣ мегардад.

Мақсади арзёбии хусусиятҳои каналҳои обӣ аз он иборат мебошад, ки

каналҳои обии мавҷуда ва объектҳои оби идоракунии оқилона онҳо то чи андоза ба рушди устувори кишвар саҳмгузор мебошад.

Усулҳои таҳқиқот

Идоракунии самараноки каналҳо ва объектҳои обӣ тасаввуроти ҳамаҷонибаи хусусиятҳо, механизм, фаъолият ва таъсири мутақобила бо муҳити зистро талаб мекунад. Бо ин мақсад усулҳои гуногуни тадқиқот истифода мешаванд, ки имкон медиҳанд хусусиятҳои гидрологӣ, экологӣ ва муҳандисии системаҳои обӣ арзёбӣ гардад.

Ҳангоми тадқиқот мо аз усулҳои гидрологӣ (ҳисоби маҷрои об, сатҳи об), усулҳои гидравликӣ (параметрҳои суръати ҷараён, турбулентнокӣ, қобилияти обанборҳо ва каналҳо), усулҳои мувозинат, усулҳои геофизикӣ, сейсмоакустикӣ ва технологияи низомии иттилоотӣ-гео-

графӣ (технологияи НИГ) истифода бурдем.

Ҳамин тариқ, наздиккуниҳои маҷмӯӣ, аз ҷумла истифодаи технологияҳои муосир ва усулҳои анъанавӣ, барои дарки муфассали равандҳои объектҳои обӣ ва каналҳо саҳм мегузорад. Ин гуна тадқиқотҳо барои идоракунии устувори захираҳои обӣ ва таҳияи тадбирҳои самарабахши ҳифзи онҳо замина фароҳам меоранд.

Гузориши масъала

Каналҳои обӣ бо назардошти иқтидор, чуқурӣ (умқ) ва дарозии онҳо тарҳрезӣ карда мешаванд. Ин параметрҳо функцияҳо ва мувофиқати онҳоро барои вазифаҳои мушаххас ба монанди обёрӣ ё интиқоли об муайян мекунанд.

Каналҳо бо назардошти релеф, шарити иқлим ва захираҳои табиӣ об сохта мешаванд. Масалан, дар минтақаҳои кӯҳӣ каналҳо барои пешгирии эрозия ба истифода дода мешаванд, дар ҳоле ки дар минтақаҳои биёбон онҳо барои кам кардани бухоршавӣ оптимизатсия карда мешаванд.

Каналҳо вобаста аз шакли истифодабарӣ ба якчанд гуруҳ тақсим карда мешаванд, ҳар яки он вазифаи амиқи худро иҷро мекунад, аз ҷумла: киштиронӣ (роҳҳои обии сунӣ), нерӯи барқи обӣ (дериватсионӣ), обёркунӣ, обтаъминкунӣ, заҳкашҳо, ҷӯбкашонӣ, моҳипарварӣ, ва бисёрсоҳавӣ (якчанд вазифаро дар бар мегирад).

Хусусиятҳои демографӣ (зиёдшавӣ ва паҳншавии аҳоли), тараққиёти иқтисодӣ ва таъсисҳои давлатдорӣ дар ҳудуди Тоҷикистон беш аз пеш бо тараққиёти объектҳои обӣ ва каналҳои обӣ алоқаманди зич дорад. Аз қадим мардуми ҳудуди Тоҷикистон бо азхудкунии роҳҳои обӣ ва заминдорӣ машҳур буданд. Захираҳои обии Тоҷикистон асосан дар қаторкӯхҳои он (дар шакли пирахҳо) ҷамъ гардидааст.

Тоҷикистон дорои захираҳои бузургӣ обӣ дар минтақаи Осиёи Марказӣ ва

Афғонистон мебошад. Тоҷикистон бинобар доштани релефи қуҳсор ва мавҷуд будани пирахҳо, дарёҳо ва кӯҳои сершумор дар ташаккули захираҳои обии ҳавзаҳои дарёи Амударё, Сирдарё ва билохира сохтори баҳри Арал нақши асосиро мебозад.

Аммо бо дороии чунин захираи обӣ ҳоло ҳам мушкилоти норасоии об дар баъзе минтақаҳои он эҳсос мегардад. Вобаста ба ин, зарурияти омӯзиши каналҳои обӣ ва таҷдиди назар нисбати онҳо яке аз масъалаҳои мубрами замони муосир ба ҳисоб меравад.

Канали калони Фарғона ба номи Усмон Юсуфов (собиқ Канали калони Фарғона ба номи Сталин) канали калони ирригатсионии Ҷумҳурии Тоҷикистон, Қирғизистон ва Тоҷикистон махсуб меёбад.

Канал дар солҳои 1939 – 1940 сохта шуда, яке аз калонтарин иншоотҳои гидротехникии даврони Иттиҳоди Шӯравӣ ба ҳисоб мерафт.

Дарозии умумии канал 350 км буда, ду қитъаро дар бар мегирад: Норини боло (44 км) ва Қарадарёи поён (301 км), ки аз қитъаи дарёи Қарадарё ҷудо мешавад. Канал дар ҳудуди Тоҷикистон 283 км, Қирғизистон - 12 км, Тоҷикистон - 62 км ташкил медиҳад. Маҷрои миёнаи бисёрсолаи об 180 м³/с, дар даврони серобӣ - 211 м³/с баробар аст. Дар Канали калони Фарғона зиёда аз 1000 иншооти гидротехникӣ, аз ҷумла зиёда аз 50 иншооти калон сохта шудаанд. Дар водии канал 9 сарбанд, 258 обпартои муқарарӣ, 7 обпартои дарғотӣ, 8 обгузар, 101 пӯли нақлиётӣ мавҷуд аст [1].

Аз канали мазкур дар маҷмӯъ тақрибан то 500 ҳазор га шодоб мегардад, ки 66,6 ҳазор га дар вилояти Андиҷони Ёзбекистон, 12 ҳазор га дар вилояти Намангонии Ёзбекистон, 125 ҳазор га дар вилояти Фарғонаи Ёзбекистон, 0,76 ҳазор га дар Қирғизистон ва дар вилояти Сугди Тоҷикистон 10 ҳазор га ташкил мекунад (ҷадвали 1) [2].

Чадвали 1. Заминҳои обёришаванда аз Канали калони Фарғона ба номи Усмон Юсуфов.

№	Кишвар	Вилоят	Миқдори заминҳои обёришаванда, га
1.	Тоҷикистон	Сугд	10000
2.	Қирғизистон	-	760
3.	Узбекистон	Андичон	66600
4.	Узбекистон	Намангон	12000
5.	Узбекистон	Фарғона	125000

Канали Фарғонаи Шимолӣ – объекти бузурги ирригатсионӣ дар Ӯзбакистон ва Тоҷикистон, дар қисми шимолии водии Фарғона ҷойгир аст. Объекти мазкур аз Ӯзбакистон (дарёи Норин, дар наздикии шаҳри Учкӯрғон, дар поёни сарбанди неругоҳи барқи обии Учкӯрғон, дар марзи Қирғизистону Ӯзбакистон) оғоз ёфта, дар қисмати ниҳояиш дар вилояти Сугди Тоҷикистон ҷойгир аст. Объекти мазкур соли 1940 сохта шудааст. Дарозии умумии канал 160 км буда, аз он 60 км дар ҳудуди Тоҷикистон (25 км дар ноҳияи Ашт) мебошад [4].

Аз Канали Фарғонаи Шимолӣ дар Ӯзбекистон қариб 63 ҳазор га ва дар ҳудуди Тоҷикистон то 5 ҳазор га замин обёрӣ мебардад [5].

Канали калони Ҳисор (расми 1), иншооти обие мебошад, ки дар солҳои 1940-1942 бо мақсади беҳтар намудани шароити гидрологӣ, таъмини беҳатарии хок ва иқлим, инчунин баланд бардоштани самаранокии истифодаи замин ва захираҳои обӣ барои ба даст овардани ҳосили баланд ва устувори зироатҳои кишоварзӣ дар як қатор минтақаҳои Тоҷикистону Ӯзбекистон сохта шудааст. Канали мазкур вилояти Сурхондарёи Ӯзбекистон ва водии Ҳисори Тоҷикистонро шодоб намуда, дарёи Варзобро бо дарёи Қаратоғ мепайвандад [3].

Дарозии канал 49,3 км, бар (сатҳи об) - 32 м, умқи миёна - 2 м, маҷрои миёнаи би-сёрсола (дар дарёи Қаратоғ) - 15-20 м³/с.

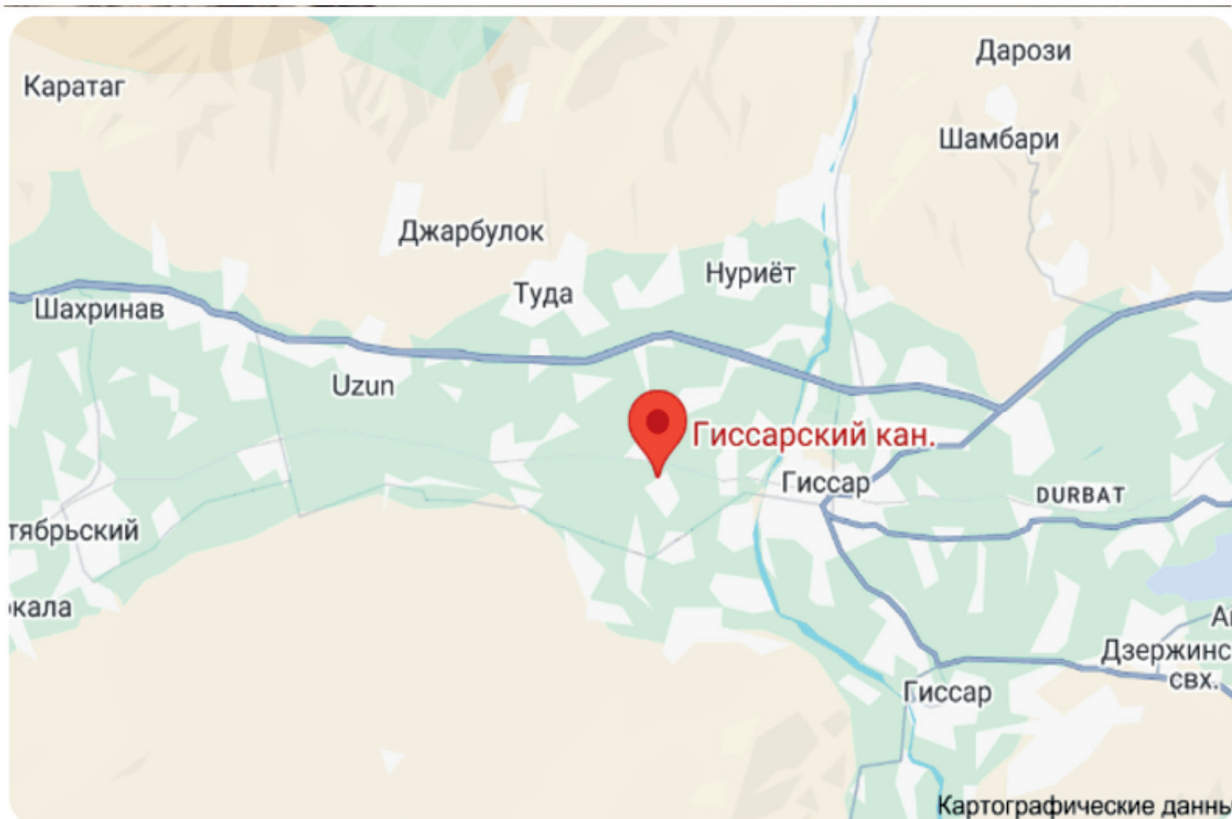
Дар водии канал зиёда аз 70 иншооти гидротехникӣ сохта шудааст, ки калонтаринашон сарбанди дарёи Варзоб ва дарёи Хонақо мебошанд.

Канал ба чанд шоха тақсим мешавад: Говкуш, Чоряккорон, Кампирқалъа, Ҳисор, Янгиобод ва Ойим, ки дар ҳар кадомаш аз 2 то 6 м³/с об ҷорӣ мешавад. Дар канал ду истгоҳи насосӣ, яъне Янгичоряккорон ва Янгиобод мавҷуд аст, ки 15 ҳазор га заминҳои Рӯдакӣ, Ҳисор, Шаҳринав, Турсунзода ва беш аз 10 ҳазор га заминҳои ноҳияи Деҳнави вилояти Сурхондарёи Ӯзбекистонро обёрӣ мекунад.

Канали магистралӣ Вахш – боис гардид, ки биёбонҳои худруйро боз ба диёри шукуфон табдил диҳад, ба водии Вахш ҳаёти дубора бахшид. Канали ирригатсионии Вахш на танҳо имкон дод, ки орзуи ҳукумати марказии Иттиҳоди Шӯравиро бароварда кунад, балки дар ба даст овардани истиқлолияти пахтакорӣ саҳми ҳудро гузошт.

Канал барои тараққӣ додани пахтакорӣ дар ҷануби Тоҷикистон, дигар соҳаҳои кишоварзӣ, сохтмони миқдори зиёди роҳҳо, шаҳрҳои нава, ҷамоатҳо ва дигар деҳотҳо, инчунин саноати сабук ва химия, тараққӣ додани секторҳои гуногуни иҷтимоӣ роҳи кушод.

Соли 1966, баъди ба анҷом расидани сохтмони НБО “Сарбанд” миқдори об аз пайвасти гардидани канали пайвастанандаи НБО “Сарбанд” афзӯда, танзими сарғаҳи об бошад нақши иншооти обпарторо ба зима гирифт.



Расми 2. Канали калони Ҳисор.



Расми 3. Канали калони Вахш.

Канали магистралии Вахш канали сунъиест дар системаи обёрии водии Вахш. Аз дарёи Вахш об мегирад. Тӯлаш 28,7 км, бараш ба ҳисоби миёна 36 м, чуқуриаш 4,5 м. Сарфи об дар сарғаҳи канал зиёда аз $210 \text{ м}^3/\text{сон}$. Канали магистралии Вахш 13 сентябр 1933 ба истифода дода шудааст. Дар сохтмони канал бисёр коргарон, муҳандисон ва мутахассисони шаҳрҳои Москва, Ленинград, Тошканд ва ғайраҳо иштирок кардаанд. Баробари сохтмони НОБ-ҳои Шаршара (1958), Сарбанд (1963) ва Маркази дарозии Канали магистралии Вахш нисбат ба аввала хеле афзуд.

Канал якчанд иншооти гидротехникӣ дорад. Шохаҳои Канали магистралии Вахш аз каналҳои Ҷӯйбор (дарозияш 25,6 км, сарфи об дар сарғаҳаш $52 \text{ м}^3/\text{сон}$), Октябрь (дарозӣ 2,6 км, сарфи об $21 \text{ м}^3/\text{сон}$), Гулистон (37,5 км, сарфи об $37 \text{ м}^3/\text{сон}$), Қумсангир (61,2 км, сарфи об дар сарғаҳаш $51 \text{ м}^3/\text{сон}$), Чиликулкофир бо поёнобаш канали Чиликул (35,2 км, сарфи об $36 \text{ м}^3/\text{сон}$) иборатанд. Ба воситаи

канал 90 ҳаз. га зами, аз ҷумла 55 ҳаз. га пахтазорони ноҳияҳои Қургонтеппа, Вахш, Колхозобод ва Қумсангир обёрӣ мешавад.

Канали магистралии Вахш имрӯз ҳамчун хатсайри энергетикӣ ва ирригатсионӣ дар қатори иншооти калони гидротехникӣ мақом дорад ва барои обёрии зиёда аз 110 ҳазор га заминҳои обии ноҳияҳои Ҷ.Балхӣ, Дӯстӣ, Ҷайхун, Вахш, Кӯшонӣ ва шаҳри Леваканд саҳм мегузорад. Дарозии Канали магистралии Вахш 28,7 км ташкил дода, маҷрои миёнаи бисёрсола (дар қисмати сарғаҳ) - $216 \text{ м}^3/\text{с}$ ва дар қисмати поёноб - $100 \text{ м}^3/\text{с}$ ташкил медиҳад.

Баррасии идоракунии устувори каналҳо.

Каналҳо барои рушди соҳаи идоракунии захираҳои обӣ, рушди устувори иқтисодӣ ва иҷтимоӣ саҳми арзанда мегузоранд. Вобаста ба ин, нигоҳдории экологӣ ва ҳифзи ҳамешагии каналҳо кафолати солимии ҷомеа ва ҷонварони водии он мегардад.

Таҳқиқотҳои назариявӣ нишон медиҳанд, ки бештари кишоварзон аз нораҳии об дар вақти вегетатсионӣ нигаронӣ мекунанд. Вобаста ба ин тарҳрезии идоракунии автоматикунонӣ ва шакли зирот вобаста аз иқтидори канал кишт карда шавад.

Масъалан, агар канал ҳамагӣ дар як вақт иқтидори обии 150000 м³/га дошта бошад, аз ин бармеояд, ки дар як вақт метавонад ҳамагӣ 100 га замини пахта обёрӣ шавад. Дар ҳолати он ки замин аз 100 га зиёд будан, мо наметавонем, ки ҳамаи кишоварзонро қаноатманд кунем.

Вобаста ба ин, истифодаи системаҳои автоматкунонидашудаи идоракунии дар каналҳои обӣ самаранок, эътимодноки ва устувори онҳоро ба таври назаррас афзоиш медиҳад. Ин системаҳо имкон медиҳад, ки таъмини об оптимизатсия шавад, талафот пешгирӣ ва таъсири омилҳои инсонӣ то ҳадди имкон кам гардад.

Татбиқи системаҳои автоматикунонидашудаи идоракунии дар каналҳои обӣ махсусан барои минтақаҳои дорои захираҳои маҳдуди об муҳим аст. Ин системаҳо ба идоракунии устувори захираҳои об ва баланд бардоштани самаранокии иқтисодии истифодаи онҳо мусоидат мекунанд.

Хулоса ва баррасӣ

Каналҳои обӣ ҳамчун ҷузъи муҳими инфрасохтори об идоракунии самарабахши захираҳои обиро таъмин мекунанд ва барои рушди иқтисодӣ, иҷтимоӣ ва экологии кишвар аҳамияти калидӣ доранд. Мақола нишон медиҳад, ки омӯзиши хусусиятҳои гидрологӣ, муҳандисӣ ва экологӣ-иҷтимоии каналҳо имконият медиҳад, ки самаранокии истифодаи захираҳои обӣ баланд бурда шавад. Каналҳои асосии Тоҷикистон, аз ҷумла Канали калони Фарғона, Канали Фарғонаи Шимолӣ, Канали калони Ҳисор ва Канали магистрالي Вахш, дар таъмини обёрии заминҳо ва рушди соҳаҳои кишоварзӣ, саноат ва энергетика саҳми калон доранд.

Масъалаи камбуди об дар давраҳои вегетатсионӣ ва зарурати оптимизатсияи тақсими он бо истифода аз системаҳои автоматикунонидашуда таъкид шудааст. Истифодаи технологияи муосир ва усулҳои анъанавии таҳқиқотӣ барои дарки амиқи равандҳои обтаъминкунӣ ва баланд бардоштани устувори истифодаи об мусоидат мекунад. Баррасии каналу захираҳои обӣ дар Тоҷикистон нишон медиҳад, ки идоракунии оқилонаи ин захираҳо омили муҳим барои рушди устувори кишвар ба ҳисоб меравад.

Адабиётҳо

1. Большой Ферганский канал // [Интернет-ресурс]: Интернет-портал «Википедия». Ссылка: ru.wikipedia.org/wiki/Большой_Ферганский_канал.
2. Большой Ферганский канал // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А.М. Прохоров. — 3-е изд. — М.: Советская энциклопедия, 1969—1978.
3. Канали калони Ҳисор // [Интернет-ресурс]: Интернет-портал «Ҷумҳурият». Ссылка: www.jumhuriyat.tj.
4. Набиев В.М. Из истории участия молодежи в общенародных скоростных ирригационных стройках Таджикистана (1939-1942 гг.) // Ученые записки Худжандского государственного университета имени академика Б.Г. Гафурова. Серия гуманитарно-общественных наук. -2015. -№1(42). -С. 14-20.
5. Шерфединов Л.З. Коллизии ирригации Ферганской долины и гидроэнергетики Нарына // Гидрология. №1, Ташкент. -2012. -С. 10-19.
6. Натальчук, М.Ф. Эксплуатация гидромелиоративных систем Текст.: учеб. пособие для вузов / М.Ф. Натальчук, Х.А. Ахмедов, В.И. Ольгаренко. М.: Колос, 1983. - 279 с.; 22 см. - 20000 экз.
7. Науменко, И.И. Надежность сооружений гидромелиоративных систем Текст. / И.И. Науменко. Киев: Высшая школа, 1990. - 238 с.
8. Овчаренко, И.Х. Моделирование гидравлических явлений на гидротехнических сооружениях Текст.: учеб. пособие / И.Х. Овчаренко, А.И. Тищенко. Новочеркасск: НИМИ, 1982. - 111 с.; 19,5 см. - 500 экз.
9. Ольгаренко, В.И. Эксплуатация гидромелиоративных систем Текст. / В.И. Ольгаренко. М.: Колос, 1980. - 352 с.
10. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик Текст. — Л.: Гидрометеоздат, 1976. — 94 с.

11. Практикум по гидрологии, гидрометрии и регулированию стока Текст. — М.: Агропромиздат, 1988.-223 с.
12. Румшицкий, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента Текст.: справочное руководство / Л.З. Румшицкий. М.: Наука, 1971. — 192 с.
13. Саватеев, С.С. Методика определения оптимального уровня надежности оросительных систем Текст. / С.С. Саватеев // Вестник с/х науки. — 1986. —
14. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик Текст. / Госстрой СССР. -М.: Стройиздат, 1985.
15. Ш.СНиП 2.06.04-82. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения Текст. / Госстрой СССР. -М.: Стройиздат, 1983
16. Фазылов А.Р. Законодательная база в области безопасности гидротехнических сооружений в Таджикистане /Вестник науки ВРЭЭ, 2021-9с
17. Стратегическая значимость изучения уязвимости водных ресурсов в условиях климатических изменений / Вестник науки ВРЭЭ, 2021-36с.

ОСОБЕННОСТИ ВОДНЫХ КАНАЛОВ И ИХ ВКЛАД В УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

Мирзоев А.А.^{1,*}

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

*Автор-корреспондент. E-mail: ahliddinmirzoev95@mail.ru

Аннотация. Изучение водных каналов играет важную роль в развитии и совершенствовании гидрологических наук. Их вклад в управление водными ресурсами имеет значительное научное и практическое значение, что делает эту тему актуальной. В данной статье рассматриваются специфические характеристики водных каналов и их влияние на управление водными ресурсами с учетом географических особенностей. Установлено, что водные каналы оказывают существенное влияние на национальную экономику, а их устойчивое управление способствует долгосрочному развитию страны.

Ключевые слова: водотоки, водоемы, гидрология, ледники, реки, озера, водохранилища, климат, гидротехнические сооружения, Большой Гиссарский канал.

FEATURES OF WATER CHANNELS AND THEIR CONTRIBUTION TO WATER RESOURCES MANAGEMENT

Mirzoev A.A.^{1,*}

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

*Corresponding author. E-mail: ahliddinmirzoev95@mail.ru

Abstract. The study of water channels plays a crucial role in advancing hydrological sciences. Its' contribution to water resources management holds significant scientific and practical importance, making this topic highly relevant. This article explores the specific characteristics of water channels and their impact on water resources management, with a focus on geographical features. It has been established that water channels substantially influence the national economy, and their sustainable management supports the country's long-term development.

Keywords: watercourses, reservoirs, hydrology, glaciers, rivers, lakes, climate, hydraulic structures, Great Gissar Canal.

Маълумот оид ба муаллиф. Мирзоев Ахлиддин Ахлиддин Абдурахмонович—докторанти PhD Институту масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон. Тел.: (+992) 885086464; E-Mail: ahliddinmirzoev95@mail.ru

Сведения об авторе. Мирзоев Ахлиддин Абдурахмонович - докторант PhD Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана. Тел.: (+992)885086464; E-Mail: ahliddinmirzoev95@mail.ru

Information about the author. Mirzoev Akhliddin Abdurakhmonovich - PhD student of the Institute of water problems, hydropower and ecology of the National academy of sciences of Tajikistan. Phone. (+992)885086464; E-Mail: ahliddinmirzoev95@mail.ru

РАЗВИТИЕ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТАДЖИКИСТАНА: ПРОЕКТ ГЭС АЙНИ КАК ЭЛЕМЕНТ УСТОЙЧИВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Рахмонов Ш.С.^{1,*}, Хасанзода Б.М.¹, Гулахмадзода А.А.¹,
Давлатшоев С.К.¹, Азизов З.Б.¹

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

*Автор корреспонденции. E-mail: rahmonov0294@mail.ru

Аннотация. Настоящая статья посвящена всестороннему анализу проекта строительства Сада и Гидроэлектростанции «Айни» на реке Зарафшон в Таджикистане. Проект реализуется в сотрудничестве между Министерством энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан и иранской компанией «Фароб». Целью проекта является выработка возобновляемой гидроэнергии и повышение энергетической безопасности региона. Проведённый гидрометеорологический, сейсмологический, гидрологический и экономический анализ подтвердил технико-экономическую целесообразность строительства ГЭС с установленной мощностью 160 МВт. В статье представлены параметры водохранилища, объёмы осадков, притока и испарения, а также сравнительный анализ различных сценариев установки оборудования. Рассчитаны показатели ожидаемой генерации и рентабельности проекта [1].

Ключевые слова: Гидроэнергетика, ГЭС Айни, Зарафшон, водохранилище, технико-экономическое обоснование, альтернативная энергетика, устойчивое развитие, энергетическая безопасность.

Введение

Развитие гидроэнергетического потенциала Республики Таджикистан является приоритетным направлением национальной энергетической стратегии и важным условием устойчивого экономического роста, особенно с учётом географических, климатических и ресурсных особенностей страны. Обладая значительными водными ресурсами, Таджикистан занимает лидирующее положение в Центральной Азии по запасам гидроэнергии, значительная часть которых пока остаётся неосвоенной [2-4]. В условиях роста потребления электроэнергии [5], необходимости обеспечения надёжности электроснабжения и повышения уровня энергетической безопасности государства строительство новых объектов гидроэнергетики приобретает стратегическое значение.

Одним из таких перспективных проектов является возведение Сада и Гидроэлектростанции (ГЭС) Айни на реке Зарафшон. Этот проект инициирован в рамках сотрудничества между Республикой Таджикистан и Исламской Республикой Иран. Исходная договорённость по

реализации проекта была достигнута в 2007 году в ходе официальных межправительственных переговоров. В соответствии с подписанным меморандумом, технические и экономические исследования по проекту были поручены иранской инженерной компании «Фароб» при участии таджикской стороны в лице ОАО «Барки Точик» и Института «Гидропроект». Проект предполагает строительство бетонной плотины и гидроэлектростанции средней мощности (примерно 160 МВт) на одной из наиболее перспективных по энергетическому потенциалу рек страны — Зарафшон [6].

Особенностью данного проекта является его расположение в сложных орографических и гидроклиматических условиях. Река Зарафшон имеет высокогорное ледниково-снежное питание, характеризуется сезонной неравномерностью стока, значительными колебаниями уровня воды и высоким уровнем наносов, требующих специальных инженерных решений по осадкоудалению и защите оборудования. Кроме того, регион отличается повышенной сейсмической активностью,

что потребовало проведения детального сейсмологического анализа и выбора устойчивых инженерных конструкций плотины. Также учитывались аспекты воздействия на окружающую среду, затопление населённых пунктов и сельскохозяйственных земель, необходимость строительства новых транспортных коммуникаций (туннелей, мостов), вопросы переселения и компенсации.

Комплексное технико-экономическое обоснование, охватывающее период с 2009 по 2010 год, включало в себя метеорологические, гидрологические, геодезические, сейсмические и экологические изыскания, моделирование различных сценариев строительства плотины, выбор оптимальной конфигурации турбин, расчёт выработки электроэнергии, анализ испарения и потерь воды, оценку наносов, технико-экономический анализ вариантов высотного положения плотины (нормального подпорного уровня 1350 и 1377 м над уровнем моря). Результаты исследования демонстрируют, что при рациональной инженерной реализации проект ГЭС Айни способен обеспечить выработку более 600–700 млн кВт·ч в год, с возможностью покрытия пиковых нагрузок и интеграции в национальную энергосистему, а также экспорта электроэнергии в соседние страны.

Целью данной статьи является обобщение ключевых результатов технико-экономического анализа проекта ГЭС Айни, включая гидрологическое обоснование, характеристики водохранилища, сценарии установки оборудования, оценки энерговыработки и финансовой эффективности. Также представлена визуализация гидрологических параметров, таблицы климатических данных, характеристики вариантов плотины и инженерных решений, предлагаемых для минимизации рисков и увеличения эффективности проекта. Анализ проведён с учётом требований устойчивого развития, безопасности, экологичности и соответствия региональной энергетической политике Республики Таджикистан.

Анализ проекта

- Местоположение: район Айни, река Зарафшон
- Установленная мощность: 160 МВт
- Тип ГЭС: русловая, бетонная плотина RCC (90 м) или дугообразная (117 м)
- Объём водохранилища: до 300 млн м³
- Объём осадков в бассейне: 998 мм/год
- Среднегодовой приток: 138.11 м³/с (4380 млн м³/год) [7].

Варианты сооружения приведены на таблице 1.

Таблица 1. Сценарии установки оборудования.

Вариант	Тип агрегатов	Количество	Общая мощность (МВт)	Годовая выработка, GWh
А	2х65 + 2х95 (разные)	4	160	669 (в т.ч. гарантированная — 602)
В	4ходинаковые	1	130	~600

Технические параметры плотины

- Высота плотины: 90 или 117 м
- Тип водосброса: два туннеля по 7 м диаметром, длиной 720 м (двухкамерный вариант) или 380 м (RCC)

- План строительства включает 9 этапов от отвода русла до монтажа турбин

На рисунке 1 приведён гидрограф водообеспечения река Зарафшон.

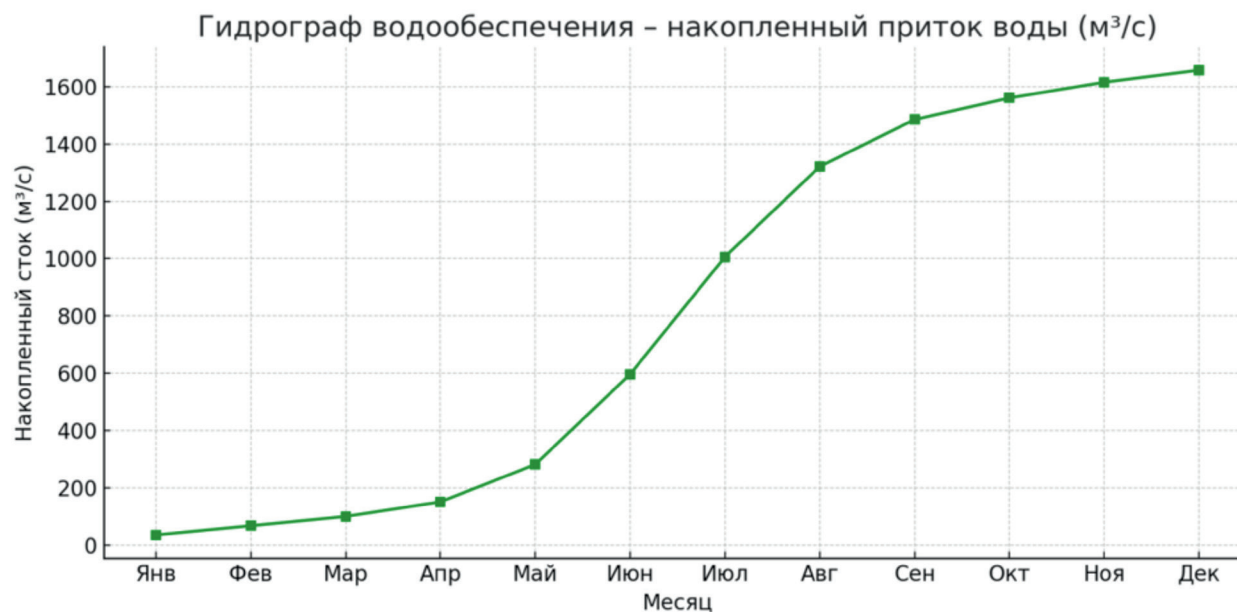


Рисунок 1. Гидрограф водообеспечения – накопленный приток воды.

На графике представлен гидрограф водообеспечения, отражающий накопленный объем стока по месяцам в районе ГЭС Айни. Он наглядно демонстрирует, что основной объем притока формируется в период с мая по август — время активного таяния ледников. Этот график

важен для планирования режима работы ГЭС, выбора мощности агрегатов и расчёта выработки электроэнергии [8].

На рисунке 2 приведена зависимость годовой генерации электроэнергии от установленной мощности.

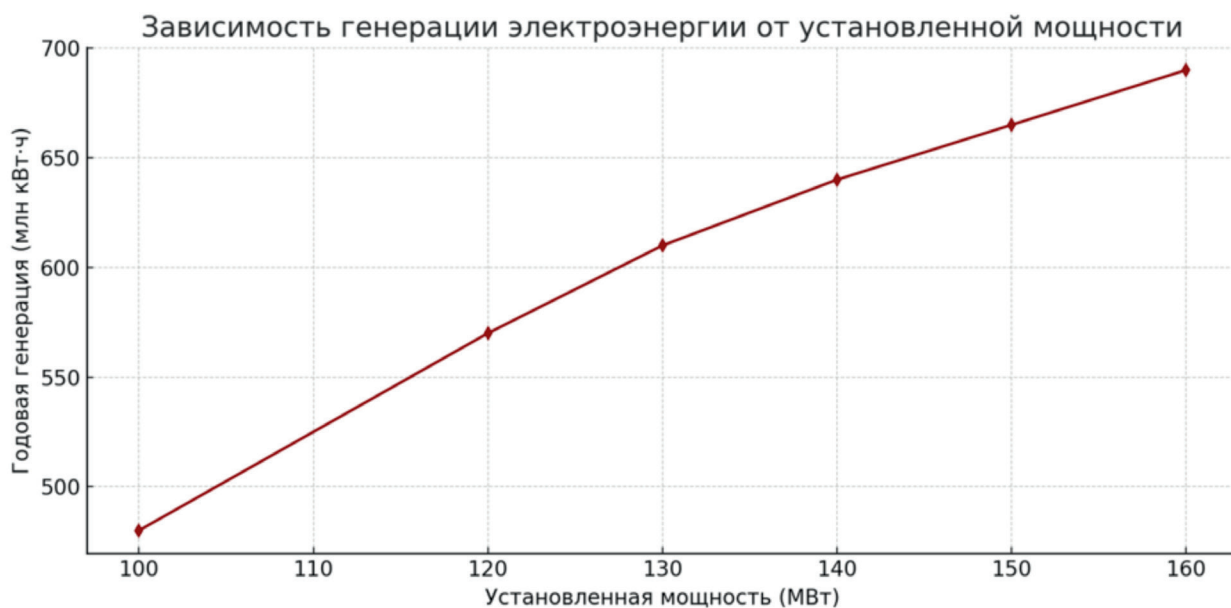


Рисунок 2. Зависимость годовой генерации электроэнергии от установленной мощности.

На графике представлена зависимость годовой генерации электроэнергии от установленной мощности ГЭС Айни. Как видно, с увеличением мощности наблюдается почти линейный рост выработки — от 480 млн кВт·ч при 100 МВт до 690 млн

кВт·ч при 160 МВт. Это позволяет обосновать выбор мощности как ключевого фактора экономической эффективности проекта.

На рисунке 3 и таблице 2 приведён среднемесячный сток реки Зарафшон.

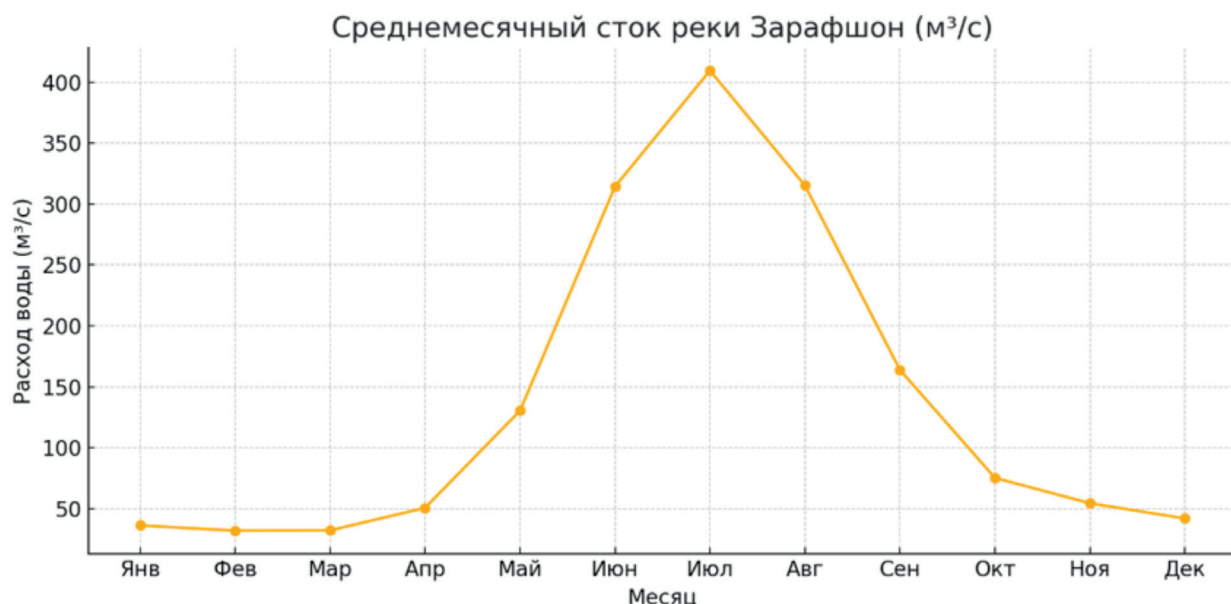


Рисунок 3. Среднемесячный сток реки Зарафшон.

График среднемесячного стока реки Зарафшон в районе проектируемой ГЭС Айни, основанный на многолетних гидрологических данных, показывает сезонную

изменчивость водообеспечения, с пиком в июле (409,5 м³/с) и минимумом в зимние месяцы. Таблица с точными значениями представлена выше.

Таблица 2. Годовой сток за 1960–2008 гг. (м³/с).

Месяц	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек
Средн	36.4	32.1	32.3	50.8	130.5	314.4	409.5	315.2	164.0	75.4	54.6	42.1
Всего (млн м³)	4380.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Результаты проведённого технико-экономического, гидрологического и климатического анализа проекта строительства Сада и Гидроэлектростанции (ГЭС) Айни на реке Зарафшон подтверждают его высокую эффективность и стратегическую важность для энергетической системы Республики Таджикистан. Исследование показало, что с учётом специфики гидрологического режима реки, режима осадков, испарения и объёмов наносов оптимальным вариантом является строи-

тельство плотины на отметке 1355 м над уровнем моря с нормальным подпорным уровнем 1350 м и использованием комбинированной конфигурации турбин мощностью 160 МВт.

Одним из ключевых факторов обоснования проекта стала высокая естественная водообеспеченность региона: среднегодовой приток воды в районе плотины составляет 138,1 м³/с, а в паводковый период (май–август) он достигает более 400 м³/с. Это обеспечивает значительный

потенциал генерации без необходимости создания слишком большого водохранилища. Однако, как показывает анализ, значительная доля годового притока сосредоточена в летние месяцы, что требует адаптированных инженерных решений по регулированию суточных и сезонных колебаний нагрузки, в том числе использования агрегатов различной мощности и дополнительной камеры осадкоудаления [9].

В климатических условиях района Айни, характеризующегося полугорным холодным климатом с высокой сезонностью, годовой объём испарения с зеркала водохранилища достигает 1572,8 мм, что требует учёта в водохозяйственном балансе станции. Также значительную проблему представляет накопление наносов, объём которых может достигать 5–6 млн тонн в год, что в перспективе может повлиять на полезный объём водохранилища и срок службы станции. Для минимизации негативных эффектов проектом предусмотрены инженерные меры по осадкоудалению (туннели, водосбросы, повышение уровня водозабора и др.).

Сравнительный анализ нескольких вариантов реализации проекта (с разными высотами плотины, типами генераторов и объёмами водохранилищ) продемонстрировал, что именно вариант с меньшей высотой плотины (90 м) позволяет:

- существенно снизить капитальные затраты (за счёт уменьшения объёма строительных работ и инфраструктуры переселения),
- сохранить мосты и дороги регионального значения,
- снизить уровень затопления населённых пунктов,
- а также продлить срок эксплуатации объекта за счёт ежегодного удаления части наносов.

Годовая выработка при установленной мощности 160 МВт составляет порядка 690 млн кВт·ч, из которых не менее 600

млн кВт·ч могут быть классифицированы как гарантированные. Это позволяет не только покрыть внутренние потребности, но и рассматривать ГЭС Айни как источник экспортной электроэнергии в рамках региональных энергетических инициатив (например, CASA-1000) [10].

Проект соответствует критериям устойчивого развития [11, 12]: он ориентирован на использование возобновляемого ресурса (гидроэнергии), снижает зависимость от импорта энергоресурсов, не производит прямых выбросов CO₂ и, при соответствующих экологических компенсирующих мероприятиях, может быть реализован с минимальным воздействием на окружающую среду. В то же время проект требует повышенного внимания к вопросам:

- защиты биоразнообразия,
- контроля сейсмических рисков,
- обеспечения безопасности сооружений в условиях возможных экстремальных паводков (селевые риски до 2900 м³/с).

Выводы

С учётом вышеизложенного, можно сделать следующие заключения:

- Проект ГЭС Айни технически реализуем, экономически оправдан и экологически допустим при соблюдении проектных рекомендаций.
- Оптимальная модель предполагает плотину с НПУ 90 м, 160 МВт установленной мощности, оснащение водозабора системами осадкоудаления, двухуровневый режим эксплуатации и возможность регулирования пиковой нагрузки.
- Проект способен внести существенный вклад в укрепление энергетической независимости Таджикистана, повысить надёжность энергоснабжения регионов, а также усилить экспортный потенциал национальной энергосистемы.

Таким образом, реализация проекта НБО Айни отвечает стратегическим задачам страны и может служить моделью для устойчивой гидроэнергетической трансформации Центральноазиатского региона.

Литература

1. Mahab Qods Consulting Engineers. Feasibility Study for Ayni HPP. Final Report. Tehran–Dushanbe, 2009–2010.
2. ОАО «Барки Тоҷик». Энергетическая стратегия Республики Таджикистан до 2030 года. Душанбе, 2015.
3. Халиков Х., Рахмонов Ш.С., Курбонализода С.Ш., Гулахмадов А.А., Давлатшоев С.К. Энергетические ресурсы Таджикистана. Часть 1. Гидроэнергетические ресурсы. Журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» - Душанбе: ИМОГЭЭ, 2023 Т.3, №1. –С. 83-91.
4. Носыров Н.К., Сосин П.М., Давлатшоев С.К., Амирзода М.Х., Амирзода О.Х., Бобиев С.С., Основы экологической безопасности водохранилищ и ГЭС на примере Республики Таджикистан. Журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология», - Душанбе, №1 (4), 2021. С.73-81.
5. Исаев А. Б. Энергетическая безопасность стран Центральной Азии: вызовы и перспективы. — Алматы: САЕР, 2016. — 220 с.
6. Муталии Лоихаи сад ва неругоҳи Айни. Душанбе: Вазорати энергетика ва захираҳои оби Ҷумҳурии Тоҷикистон, 2010. – 60 с.
7. Национальный центр гидрометеорологии Таджикистана. Архивные гидрологические данные по реке Зарафшон (1960–2008 гг.).
8. Schulte V.L. Classification of glacial-fed rivers. Hydrology Journal, 1973.
9. Gensel C., Nelson A. Seismic Zoning Catalog. GeoRisk Press, 1982.
10. Asian Development Bank (ADB). Hydropower Development Strategy for Central Asia. — Manila, 2020.
11. Глобальный банк. Доклад по устойчивому управлению водными ресурсами в Центральной Азии. Вашингтон: The World Bank, 2020.
12. ООН. Сценарии климатических изменений и водная безопасность в Азии. — Женева: UNECE, 2019. Курбонов Ю.М.

ТАҲКИМИ ИҚТИДОРИ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИИ ТОҶИКИСТОН: ЛОИҲАИ НБО-И АЙНИ ҲАМЧУН УНСУРИ ЭНЕРГЕТИКАИ УСТУВОР

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

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

*Муаллифи масъул. E-mail: rahmonov0294@mail.ru

Шарҳи мухтасар. Мақолаи мазкур ба таҳлили ҳамаҷонибаи лоиҳаи сохтмони сад ва неругоҳи барқи оби «Айни» дар рӯди Зарафшони Ҷумҳурии Тоҷикистон бахшида шудааст. Лоиҳа дар ҳамкорӣ бо Вазорати энергетика ва саноати Ҷумҳурии Тоҷикистон ва ширкати иронӣ — «Фароб» амалӣ мегардад. Ҳадафи лоиҳа тавлиди энергияи барқароршавандаи обӣ ва таҳкими амнияти энергетикӣ минтақа мебошад. Таҳлилҳои гузаронидашудаи гидрометеорологӣ, зилзиласанҷӣ, гидрологӣ ва иқтисодӣ асоснок будани техникӣи иқтисоди сохтмони НБО-ро бо иқтидори насбшудаи 160 МВт тасдиқ намуданд. Дар мақола параметрҳои обанбор, ҳаҷми боришот, обовард ва бухоршавӣ, инчунин таҳлили муқоисавии сценарияҳои гуногуни насби таҷҳизот пешниҳод гардида, нишондиҳандаҳои интизори генерасия ва самаранокии иқтисоди лоиҳа ҳисоб карда шудаанд.

Калидвожаҳо: гидроэнергетика, НБО Айни, Зарафшон, обанбор, асосноккунии техникӣи иқтисодӣ, энергетикаи алтернативӣ, рушди устувор, амнияти энергетикӣ.

STRENGTHENING HYDROPOWER POTENTIAL OF TAJIKISTAN: THE AYNİ HPP PROJECT AS AN ELEMENT OF SUSTAINABLE ENERGY

Rakhmonov Sh.S.^{1,*}, Hasanzoda B.M.¹, Gulahmadzoda A.A.¹,
Davlatshoev S.K.¹, Azizov Z.B.¹

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

*Corresponding author: E-mail: rahmonov0294@mail.ru

Abstract. This article presents a comprehensive analysis of the construction project of the dam and the “Ayni” Hydropower Plant (HPP) on the Zarafshan River in the Republic of Tajikistan. The project is being implemented in cooperation with the Ministry of Energy and Industry of the Republic of Tajikistan and the Iranian company “Farab”. The goal of the project is to generate renewable hydropower and to enhance the region’s energy security. Conducted hydrometeorological, seismological, hydrological, and economic assessments have confirmed the technical and economic feasibility of constructing the HPP with an installed capacity of 160 MW. The article presents parameters of the reservoir, data on precipitation, inflow and evaporation volumes, as well as a comparative analysis of different equipment installation scenarios. It also provides calculated indicators of expected electricity generation and the project’s economic efficiency.

Keywords: hydropower, Ayni HPP, Zarafshan, reservoir, feasibility study, alternative energy, sustainable development, energy security.

Маълумот дар бораи муаллифони: Раҳмонов Шарифхуҷа Сайвалиевич – Ходими илмӣи Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ. Адрес: ноҳияи Рудаки Ҷамоати Ҷортеппа деҳаи Кампир-Калъа хонаи 342, тел. (+992) 004044604, E-mail: rahmonov0294@mail.ru, Ҳасанзода Бехруз Муҳаммад - аспиранти Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ. Адресс: ш. Душанбе, ноҳияи Сино, кӯчаи Нусратулло Махсум 111/3, хонаи 21 тел. (+992) 908855885, E-mail: bhasanzoda@outlook.com, Гулаҳмадзода Аминҷон Абдуҷаббор – доктори илмҳои техникаӣ, директори Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Адрес: Шаҳри Душанбе, кӯчаи Айни 65 хонаи 100, тел. (+992) 885471616, E-mail: agulakhmadov@gmail.com, Давлатшоев Саломат Қаноатшоевич – н.и.т., мудири озмоишгоҳи «Энергетика, захира- ва энергиясарфанамоӣ» -и АМИТ. Адрес: н. Рудаки, ҷ. Ҷортепа, д. Арбобхотун, тел. (+992 919604041), E-mail: salomatda@list.ru; Азизов Зӯхуршо Бобохонович-унвонҷуи Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ. Тел.: (+992)987976175, E-mail: zursho-a@gmail.com.

Сведения об авторах: Раҳмонов Шарифхӯдҷа Сайвалиевич – Ходими илмӣ, Институти водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ. Адрес: Район Рудаки, община Ҷортеппа, село Кампир-Кала, дом 342, тел. (+992) 004044604, E-mail: rahmonov0294@mail.ru, Ҳасанзода Бехруз Муҳаммад - Аспирант Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ. Адрес: г. Душанбе, р-н Сино, ул. Нусратулло Махсум 111/3, кв. 21, тел. (+992) 908855885, E-mail: bhasanzoda@outlook.com, Гулаҳмадзода Аминҷон Абдуҷаббор – доктор технических наук, директор Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана. Адрес: г. Душанбе, улица Айни 141, кв. 100, тел. (+992)885471616, E-mail: agulakhmadov@gmail.com, Давлатшоев Саломат Қаноатшоевич – к.т.н. заведующий лабораторией «Энергетика, ресурсо- и энергосбережение» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ. Адрес: р. Рудаки, с/с. Ҷортепа, с. Арбобхотун, тел. (+992 919604041), E-mail: salomatda@list.ru; Азизов Зӯхуршо Бобохонович-Соискатель Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ. Тел.: (+992)987976175, E-mail: zursho-a@gmail.com.

Information about the authors: Rakhmonov Sharifkhujja Saivalievich – Fellow Researcher of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Address: Rudaki district, Chorteppa community, Kampir-Kala village, house 342, Phone: (+992) 004044604, E-mail: rahmonov0294@mail.ru, Hasanzoda Behruz Muhammad - Post-graduate student of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Science. Address: Dushanbe, st. Nusratullo Makhsum 111/3, apt. 21, Phone: (+992) 908855885, E-mail: bhasanzoda@outlook.com, Gulakhmadzoda Aminjon Abdujabbor - Doctor of Technical sciences, Director Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Address: Dushanbe city, 141 Ayni Street, apt. 100, Phone: (+992) 885471616, E-mail: agulakhmadov@gmail.com, Davlatshoev Salomat Kanoatshoevich - Ph.D., The head Laboratory of Energy Resources and Energy Saving of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Адрес: R. Rudaki, s/s. Chorteppa,

p. Arbobkhotun, Phone: (+992) 919604041, E-mail: salomatda@list.ru; Azizov Zuhursho Bobokhonovich- the Researcher of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Phone: (+992)987976175, E-mail: zursho-a@gmail.com

УДК 620.9(621.1, 621.311)

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В УСЛОВИЯХ ТАДЖИКИСТАНА. ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Рахматов Дж.Ш.^{1,*}, Кайсова Д.Ф.^{1,2},
Саид Мохаммадзаде Бина³, Каримов Б.Х.¹

¹ Центр инновационного развития науки и новых технологий Национальной академии наук Таджикистана

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

³ Graduate School of International Resource Sciences, Akita University

*Автор корреспонденции: E-mail: jamesd007@rambler.ru

Аннотация. В статье оцениваются перспективы внедрения геотермальных тепловых насосов в Таджикистане как одного из ключевых звеньев модернизации энергетической системы. Проанализированы принципы работы таких установок, их экономические и экологические преимущества, а также выявлены основные препятствия при интеграции в существующую инфраструктуру. Предлагаемые решения ориентированы на сокращение выбросов CO₂, стимулирование регионального экономического развития и повышение комфортности условий проживания.

Ключевые слова: геотермальная энергия, тепловые насосы, возобновляемая энергетика, энергосбережение, парниковые газы, теплоэнергетика.

Введение

Таджикистан, обладая выраженными климатическими и геоморфологическими особенностями, характеризуется значительными сезонными перепадами температур и сложным горным рельефом, что формирует особые условия эксплуатации систем теплоснабжения и кондиционирования. В этой связи использование геотермальных тепловых насосов (ГТН) представляет собой перспективное направление в контексте модернизации национальной энергетической системы [1-3]. Настоящее исследование направлено на всесторонний анализ современных технологических решений в области геотермальной энергетики с акцентом на их адаптацию к региональным условиям, технико-экономическую эффективность, а также на выявление основных институциональных и инфраструктурных барьеров, препятствующих широкому внедрению данных технологий [4, 5]. Особое внимание уделяется необходимости

применения междисциплинарных подходов и использованию инновационных инструментов моделирования и анализа с целью обоснования целесообразности интеграции ГТН в энергетический баланс республики.

Преимущества и ограничения геотермальных систем. Геотермальные тепловые насосы демонстрируют ряд существенных достоинств и ограничений, определяющих их применимость в Таджикистане и аналогичных регионах [2, 3].

Преимущества:

- Повышенная энергоэффективность по сравнению с традиционными системами отопления и кондиционирования за счёт использования почти постоянной температуры грунта [6, 7].
- Существенное снижение эксплуатационных расходов и выбросов загрязняющих веществ вследствие отказа от сжигания ископаемого топлива.
- Освобождение от зависимости импортных энергоносителей, что кри-

тично для экономик с ограниченным доступом к внешним ресурсам.

- Высокая надёжность и длительный срок службы благодаря защищённости подземных элементов системы от климатических воздействий.
- Низкий уровень шума и отсутствие прямых выбросов позволяют комфортно интегрировать оборудование в жилую застройку, не нарушая экологический баланс.

Ограничения:

- Значительные первоначальные капитальные затраты на бурение, монтаж контуров и пусконаладочные работы, особенно без государственной поддержки.
- Необходимость всестороннего геотехнического и теплотехнического анализа места установки (теплопроводность грунта, глубина промерзания, наличие водоносных слоёв).

- Высокие требования к квалификации участников проекта: реализация ГТН-установок требует слаженной работы геологов, инженеров-проектировщиков и экологов.

- Сложности интеграции в устоявшуюся инфраструктуру, что обуславливает потребность в адаптивных решениях и гибких схемах финансирования.

Таким образом, хотя геотермальные тепловые насосы способны обеспечить значительную экономию и экологические выгоды, их широкое внедрение требует комплексного междисциплинарного подхода, тщательного предпроектного анализа и отработанных механизмов финансовой поддержки.

Ниже приведена сводная таблица, иллюстрирующая ключевые преимущества и ограничения геотермальных систем (табл. 1).

Таблица 1. Ключевые преимущества и ограничения геотермальных систем.

Критерий	Преимущества	Ограничения	Региональный контекст	Рекомендации
Энергоэффективность и климат	CoP 4–5 за счёт постоянной температуры грунта (~16–17 °C)	Эффективность падает при изменении грунтовой температуры > 2 °C	В Душанбе средняя температура грунта ≈ 16,7 °C	Оптимизировать глубину скважин (90–120 м) на основе ТРТ-данных
Экологическая устойчивость	Нет прямых выбросов CO ₂ , уровень шума < 30 дБ	Риск нарушения почвенно-растительного покрова при небрежном бурении	В горных районах возможна эрозия и оползни	Применять технологии укрепления скважин и рекультивацию грунтов
Экономика и затраты	Сокращение OPEX до 30 % по сравнению с газовыми котлами	CapEx до 2 500 \$/кВт (бурение, монтаж)	Буровые работы в Таджикистане — около 100 \$/м	Запустить госпрограммы субсидий и льготных кредитов
Надёжность и обслуживание	Срок службы подземных контуров > 50 лет	Требуется квалифицированный персонал для монтажа и обслуживания	Дефицит специалистов в регионах за пределами Душанбе	Организовать региональные сервисные центры и обучающие курсы
Интеграция в инфраструктуру	Лёгкая комбинация с солнечными и ветровыми системами	Сложности синхронизации (разные протоколы управления)	Слабая цифровая инфраструктура в отдалённых долинах	Внедрить единую SCADA-платформу с резервированными каналами связи

Геотермальные насосы в таджикских условиях: специфика и возможности. Республика Таджикистан, отличающаяся сложным горным рельефом и резко континентальным климатом с большими сезонными амплитудами температур, представляет собой уникальную площадку для внедрения геотермальных тепловых насосов (ГТН). Суровые зимние морозы

и жаркие летние периоды создают устойчивый спрос на эффективные решения для отопления и охлаждения зданий. Используя практически неизменную температуру грунта на глубине от 90 до 120 м, ГТН способны круглогодично обеспечивать комфортный микроклимат внутри помещений, независимо от внешних климатических колебаний (рис. 1) [4, 5].

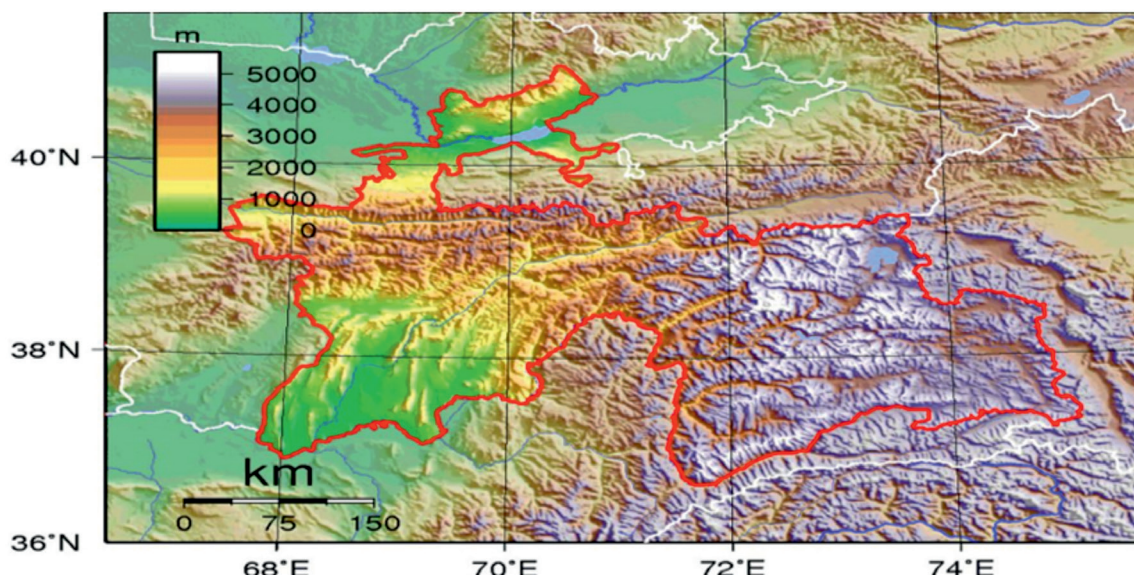


Рисунок 1. Физическая карта Таджикистана (<https://www.maps-of-the-world.org/maps/asia/tajikistan/detailed-physical-map-of-tajikistan-small.jpg>).

Геологическая структура Таджикистана — сочетание обширных горных массивов и подземных водоносных горизонтов — открывает возможность эксплуатации как вертикальных, так и горизонтальных контуров теплообмена. При этом проектировщикам необходимо учитывать локальные риски: сейсмическую активность, разнородность литологии и минералогический состав пород, которые влияют на теплопроводность и долговечность оборудования (рис. 2).

Интеграция ГТН в существующую инфраструктуру требует поэтапного подхода: на первом этапе геотермальные установки могут дополнять традиционные котельные (газовые или электрические), обеспечивая пиковую нагрузку в периоды экстремальных температур. Для широкого масштабирования технологии

необходима разработка и принятие национальных стандартов, создание системы льготного кредитования и субсидирования, а также гармонизация технических регламентов на региональном уровне.

Массовое развёртывание ГТН даст дополнительный импульс экономическому развитию за счёт создания новых производственных и сервисных предприятий, а также подготовки квалифицированных специалистов. Кроме того, комбинация геотермального оборудования с солнечными и ветровыми источниками позволит формировать гибридные энергосистемы, способные повысить надёжность и автономность регионального энергобаланса, тем самым прокладывая путь к устойчивому развитию энергетики в Таджикистане.



Рисунок 2. Геологическая карта Таджикистана (<https://th.bing.com/th/id/OIP.a3GgQqxZe4curzbOwH3LgQNaF9?rs=1&pid=ImgDetMain&cb=idpwebp2&o=7&rm=3>).

Практическая реализация и инновационные проекты. Внедрение геотермальных тепловых насосов (ГТН) в таджикскую энергетическую систему требует комплексного сочетания научных исследований, инженерно-технической проработки, государственной поддержки и финансовых механизмов. Опыт зарубежных стран, где была выстроена благоприятная нормативная и институциональная среда, свидетельствует о снижении эксплуатационных затрат и росте комфорта в жилых и коммерческих зданиях. В Таджикистане первые пилотные установки, смонтированные в новых жилых комплексах, уже показали:

- Снижение потребления традиционных энергоносителей на 25–30%;
- Стабильный микроклимат при колебаниях наружных температур от -15°C до $+40^{\circ}\text{C}$;
- Эффективность работы за счёт внедрения систем автоматизированного управления и адаптивного регулиро-

вания на основе анализа энергопотребления.

Одновременно особо перспективным направлением является формирование локальной цепочки поставок и сервисного обслуживания ГТН:

- Создание специализированных центров для проектирования, монтажа и технического аудита геотермальных контуров;
- Налаживание мелкосерийного производства контуров на базе отечественных предприятий, что сократит логистические издержки;
- Организация учебных программ и сертификатов для инженеров-проектировщиков и техников по эксплуатации ГТН.

Вместе с тем переход на геотермальные технологии сопряжён с рядом вызовов:

- Необходимость всестороннего анализа рисков — от сейсмичности до взаимодействия с грунтовыми водами;
- Установление требований по экологическому мониторингу и контролю

за состоянием почвенно-грунтовых структур;

- Оценка долгосрочной экономической эффективности с учётом амортизации оборудования и возможной замены материалов.

Для преодоления этих барьеров критически важно объединить усилия академических институтов, государственных органов и частного сектора, а также широкое международное сотрудничество, что позволит адаптировать передовые практики и ускорить масштабирование геотермальных систем в Таджикистане.

Одним из примеров успешного внедрения инноваций является проект «Development of a decarbonized heat supply system using a ground source of heat» (ЦИРНТ НАН Таджикистана совместно с Университетом Акита, Япония).

Данное исследование было проведено с целью оценки теплофизических свойств неглубоко залегающих грунтов для оптимального проектирования систем геотермальных насосов в столице Таджикистана, городе Душанбе. Данное исследование является одной из тем проекта Научно-технического исследовательского партнерства в интересах устойчивого развития (SATREPS), который осуществляется между Японией и Таджикистаном. Основные положения проекта описаны в следующем разделе.

Назначение проекта. Университет Акита (Япония) и Национальная акаде-

мия наук Таджикистана (далее - Академия) совместно осуществляют проект в течение пяти лет. Проект направлен на содействие региональной стабилизации и смягчению последствий глобального потепления путём улучшения энергетической ситуации и создания рабочих мест в Таджикистане с упором на использование богатых ресурсов подземных вод в Таджикистане для целей отопления и охлаждения. В частности, следующие три темы исследований будут проводиться путём создания и распространения «Усовершенствованной системы тепловых насосов с грунтовым источником тепла ГТН для засушливых регионов (модель Таджикистана)», которая объединяет ИКТ-технологии, такие как искусственный интеллект [8, 9].

В рамках совместного проекта был выбран участок около центра для первой станции ГТН (рисунок 3). В 2023 году были пробурены две скважины глубиной 105 метров. В каждую скважину были заложены две U-образные пластиковые трубы, и скважины были заполнены мелким гравием для лучшей теплопередачи. В данной экспериментальной станции используется «закрытый цикл» система трубопроводов теплоносителя. Данный вид выбран ввиду того, что грунтовые воды находятся на глубине от 150 метров, а в «закрытом цикле» теплоноситель циркулирует в трубах без потери и не имеет пагубного влияния на окружающую среду.



Рисунок 3. Первая станция ГТН.

ТРТ – тест

В сентябре 2023 года во главе профессора Фудзии-сан, группы японских исследователей и лично автора данной публикации были проведены ТРТ-тесты для анализа и конфигурирования системы ГТН. ТРТ-тест состоял из периода нагрева в течение 2 дней, за которым следовал период восстановления температуры в течение 2 дней. Тепловая нагрузка и скорость циркуляции в период нагрева были установлены на уровне 3,87 кВт (38,0 Вт/м) и 19,9 л/мин, соответственно. Средняя температура грунта в геотермальном теплообменнике (ГО) была измерена как 16,5°C. Температурные профили в системе измерялись с помощью оптоволоконного термометра, установленного в одной из U-образных трубок. Из-за изгиба U-образной трубки оптоволоконный датчик не смог достичь дна ГО, а остановился на отметке 86 м ниже GL. На рисунке 4 указана измеренная температура в ГО во время ТРТ.

Результаты анализа показали, что средняя теплопроводность грунта составляет около 1,9 Вт/м/К, что является благоприятным значением для внедрения систем ГТН. Тепловое сопротивление ГО было оценено как высокое в неглубокой части пласта из-за низкого уровня грунтовых вод - 50 м ниже уровня земли. На основе геологической информации и проектов ГО была построена аналитическая имитационная модель ГО на основе цилиндрической функции источника, которая была подтверждена с помощью результатов ТРТ. Затем с помощью модели было проведено тематическое исследование тепловых свойств цементирующего материала ГО для изучения возможности улучшения характеристик ГО [8, 9]. Моделирование показало, что теплообменная способность ГО может быть улучшена на 20% за счёт замены текущего цементирующего материала на материал с высоким содержанием кварца [10].

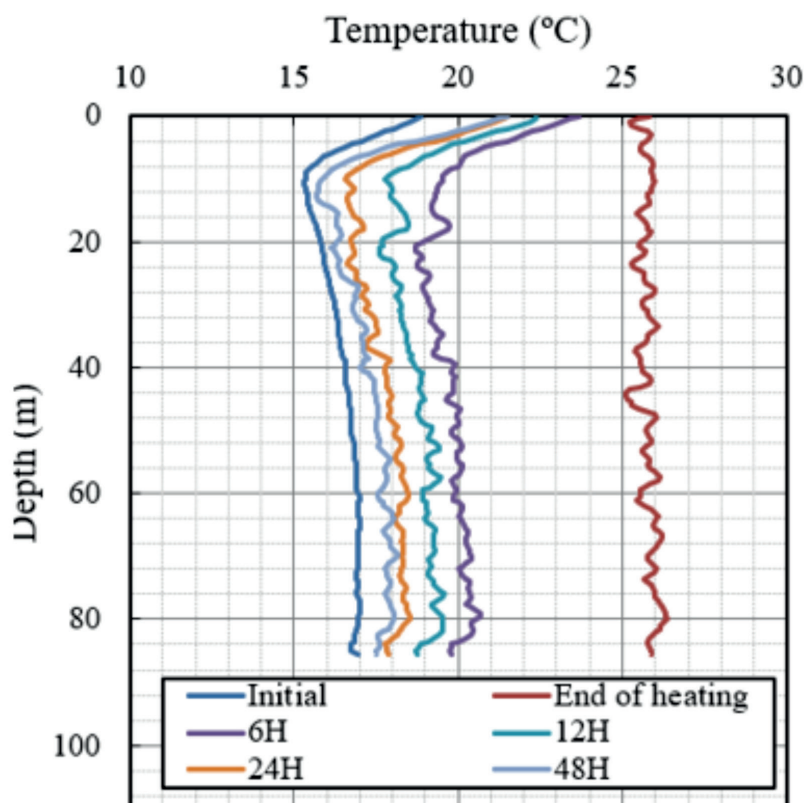


Рисунок 4. Измеренные температуры в ГО во время ТРТ.

Важно отметить, что переход к устойчивым технологиям в энергетике неизбежно сопровождается вызовами: наряду с позитивными эффектами важно учитывать вопросы безопасности, экологического надзора и долгосрочной экономической эффективности. Анализ рисков, связанных с эксплуатацией подземных систем, требует привлечения специалистов из различных областей, что способствует формированию междисциплинарного научного сообщества, объединённого общей целью – создание экологически чистого, энергоэффективного и экономически выгодного решения для обогрева и охлаждения зданий.

Дополнительные размышления и дальнейшие перспективы. Рассуждая о будущем энергетики в условиях Таджикистана, нельзя не отметить роль интеграции геотермальных технологий с другими современными источниками энергии. Например, гибридные системы, сочетающие потенциал солнечных панелей, ветровых турбин и геотермальных насосов, способны создать устойчивую энергетическую сеть, позволяющую адаптироваться к частым климатическим изменениям. Такие системы не только повышают энергоэффективность, но и способствуют развитию локальной промышленности, созданию рабочих мест и укреплению экономической стабильности региона [11].

Еще одним направлением для дальнейших исследований и инвестиций является автоматизация и цифровизация управления энергетическими системами. Использование искусственного интеллекта и прогнозной аналитики для оптимизации работы геотермальных насосов откроет новые горизонты в повышении эффективности и надёжности систем. Применение технологий интернета вещей (IoT) позволит осуществлять непрерывный мониторинг и оперативное обслуживание оборудования, что минимизирует простои и снижает затраты на техническое обслужи-

вание. Такие инновации могут оказаться решающими факторами при масштабировании проектов на уровне национальной энергетической политики.

Наконец, важным аспектом является формирование образовательных программ и курсов для подготовки специалистов, способных работать с современными геотермальными и другими возобновляемыми технологиями. Совместные проекты с международными образовательными и научными центрами могут обеспечить приток знаний и инноваций, необходимых для устойчивого развития энергетической отрасли в Таджикистане. Это, в свою очередь, создаст условия для формирования мощной кадровой базы, способной не только эксплуатировать, но и модернизировать существующие системы, адаптируя их под меняющиеся условия современной экономики и экологии.

Таким образом, комплексное внедрение геотермальных насосов в систему обеспечения комфортного климата в зданиях является не только технологическим, но и социально-экономическим вызовом, стоящим на пути к устойчивому развитию страны. Развитие этой сферы требует активного диалога между учёными, инженерами, государственными деятелями и бизнес-сообществом, способного объединить усилия для создания эффективной, надёжной и экологически чистой энергетической модели будущего.

Выводы

Анализ показал, что применение геотермальных тепловых насосов в Таджикистане представляет собой перспективную технологию для формирования надёжного и экологически безопасного теплоснабжения [1-3]. Эксплуатация устойчивого температурного ресурса грунта обеспечивает снижение операционных издержек и выбросов парниковых газов при одновременном повышении энергоэффективности и долговечности систем [8,9]. Основными факторами, ограничива-

ющими масштабирование ГТН, являются высокие капитальные затраты, дефицит профильных специалистов и необходимость учёта региональных геолого-климатических условий. Для преодоления этих препятствий требуется разработка комплексной нормативно-правовой базы, внедрение финансово-экономических стимулов, а также реализация пилотных проектов в сочетании с программами профессиональной подготовки. Дальнейшая интеграция геотермальных решений с солнечной и ветровой энергетикой позволит сформировать гибридные энергосистемы, способствующие укреплению национальной энергетической независимости и поддержке глобальных инициатив по развитию возобновляемых источников энергии [11-13].

Литература

- Dickson, M. H., & Fanelli, M. (2004). *Geothermal Energy: Renewable Energy and the Environment*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Lund, J. W., & Boyd, T. L. (2016). Direct Utilization of Geothermal Energy Worldwide: 2015 Worldwide Review. *Geothermics*, 60, 66–93. DOI: 10.1016/j.geothermics.2016.02.005
- Li, J., & Wang, S. (2009). Performance Analysis of a Geothermal Heat Pump System for Building Heating and Cooling. *Renewable Energy*, 34(5), 1443–1451.
- Рабиев, М. М. (2021). Вопросы эффективного использования геотермальных источников горных регионов Таджикистана [Электронный ресурс]. CyberLeninka. Доступно по ссылке: <https://cyberleninka.ru/article/n/voprosy-effektivnogo-ispolzovaniya-geotermalnyh-istochnikov-gornyh-regionov-tadzhikistana>, (Дата обращения: 01.05.2025).
- Центральная Азия. (2022, июль). Возобновляемые источники энергии в Центральной Азии: потенциал, использование, перспективы и барьеры. UCentralAsia.org. Доступно по ссылке: <https://ucentralasia.org/ru/publikafii/2022/july/wp71>, (Дата обращения: 01.05.2025).
- Краснов, Д. К. (2020). Особенности применения геотермальных тепловых насосов в индивидуальном жилом строительстве [Электронный ресурс]. CyberLeninka. Доступно по ссылке: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-primeneniya-geotermalnyh-teplovyyh-nasosov-v-individualnom-zhilom-stroitelstve>, (Дата обращения: 01.05.2025).
- Шулюпин, А. Н. (2020). Современные тенденции в освоении геотермальных ресурсов [Электронный ресурс]. CyberLeninka. Доступно по ссылке: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-v-osvoenii-geotermalnyh-resursov>, (Дата обращения: 01.05.2025).
- Hikari Fujii, Daizo Ishiyama, Jamshed Rahmatov and Fumiaki Inagaki. Interpretation of the first thermal response test in Central Asian countries, Proceedings 46th New Zealand Geothermal Workshop, 20-22 November 2024, Auckland, New Zealand, ISSN 2703-4275
- Mohammadzadeh Bina, S., Fujii, H., Qaisova, D., Lein, R., Rahmatov, J., & Inagaki, F. (2025). Ground source heat pump systems in Central Asia: A case study from Dushanbe, Tajikistan. *Geothermics*, 128, 103281. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2025.103281>
- Iolov M., Rahmatov J.Sh. Inverse Problems of Geothermics. *Journal of Applied Data Analysis and Modern Stochastic Modelling* Vol. 1 No. 2 (December, 2024). p. 1-7.
- Iolov M., Inagaki F., Iolov A., Kabirov Sh., Rahmatov J. Tracking Photovoltaic Systems at Mountain Heights. *SiliconPV 2023*, 13th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics Silicon Material and Defect Engineering <https://doi.org/10.52825/siliconpv.v1i.965>. Published: 29 Feb.2024. pp. 1-10.
- Хасанов Б.М., Гулахмадзода А.А., Рахмонов Ш.С. Использование потенциала возобновляемых источников энергии в Таджикистане: Диверсификация, вызовы и стратегические пути к энергетической независимости. Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии национальной академии наук Таджикистана. Т.5, № 1, с. 87-97.
- Юмаев Н.Р., Кодиров А.С., Рахматов Дж.Ш. Плавающие солнечные электростанции. Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии национальной академии наук Таджикистана. 2022. Т. 2. № 1. С. 75-80.

ИСТИФОДАИ НАСОСҲОИ ГАРМИДИҲАНДАИ ГЕОТЕРМАЛӢ ДАР ТОҶИКИСТОН

Раҳматов Ҷ.Ш.^{1,*}, Қайсова Д.Ф.^{1,2},
Саид Мохаммадзаде Бина³, Каримов Б.Х.²

¹Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нави Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

²Институту масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экология Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

³Мақтаби олии оид ба илмҳои байналмилалӣ захираҳо, Донишгоҳи Акита

*Муаллифи масъул: E-mail: jamesd007@rambler.ru

Шарҳи мухтасар. Дар мақола дурнамои ҷорӣ намудани насосҳои гармидиҳии геотермалӣ дар Тоҷикистон ҳамчун яке аз бахшҳои асосии навсозии системаи энергетикӣ арзёбӣ мешавад. Принципиҳои кори ин гуна иншоотҳо, афзалиятҳои иқтисодӣ ва экологии онҳо таҳлил карда шуда, монеаҳои асосии воридишавӣ ба инфрасохтори мавҷуда муайян карда мешаванд. Ҳалли пешниҳодшуда ба кам кардани партовҳои CO², ҳавасмандгардонии рушди иқтисодии минтақа ва беҳбуди шароити зиндагӣ нигаронида шудааст.

Калидвожаҳо: энергияи геотермалӣ, насосҳои гармӣ, энергияи барқароршаванда, сарфаи энергия, газҳои гармхонаӣ, муҳандисии гармидиҳӣ.

APPLICATION OF GEOTHERMAL HEAT PUMPS IN TAJIKISTAN CONDITIONS. INTRODUCTORY SECTION

Rahmatov J.Sh.^{1,*}, Qaisova D.F.^{1,2},
Said Mohammadzadeh Bina³, Karimov B.Kh.²

¹Center of Innovative Development of Science and New Technologies National Academy of Sciences of Tajikistan

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

³Graduate School of International Resource Sciences, Akita University

*Corresponding author: E-mail: jamesd007@rambler.ru

Abstract. The article assesses the prospects of introducing geothermal heat pumps in Tajikistan as one of the key links in the modernization of the energy system. The principles of operation of such installations, their economic and environmental advantages are analyzed, and the main obstacles in integration into the existing infrastructure are identified. The proposed solutions are focused on reducing CO₂ emissions, stimulating regional economic development and improving the comfort of living conditions.

Key words: geothermal energy, heat pumps, renewable energy, energy saving, greenhouse gases, thermal power engineering.

Маълумот дар бораи муаллиф: Раҳматов Ҷамшед Шавкатович – Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нави АМИТ, муовини директор оид ба илм, номзоди илмҳои физикаю математика. Тел.: (+992) 900020065, E-mail: jamesd007@rambler.ru; Қайсова Дурсултон Фатховаровна – Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нави АМИТ, ходими илмӣ. Тел.: (+992) 712499302, Email: dursulton@list.ru. Саид Мухаммадзода Бина Мақтаби олии оид ба илмҳои байналмилалӣ захираҳо, Донишгоҳи Акита, 1-1 Тегата гакуэнчо, Акита 010 8502, Чопон, Профессори ҳамкора (дотсент). Тел: (+81) 188982378, E-mail: s.bina@mine.akita-u.ac.jp; Каримов Бежан Ҳабибуллоевич – Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нави АМИТ, ходими хурди илмӣ. Тел.: (+992) 906888000, E-mail: bejankarimv@gmail.com

Сведения об авторах: Раҳматов Ҷамшед Шавкатович – Центр инновационного развития науки и новых технологий НАНТ, заместитель директора по науке, кандидат физико-математических наук. Тел.: (+992) 900020065, E-mail: jamesd007@rambler.ru; Қайсова Дурсултон Фатховаровна – Центр инновационного развития науки и новых технологий НАНТ, научный сотрудник. Тел.: (+992) 712499302, E-mail: dursulton@list.ru; Саид Мохаммадзаде Бина – Высшая школа международных ресурсных наук, Университета Акита, 1-1 Тегата гакуэнчо, Акита 010 8502, Япония, Доцент. Тел: +81-18-889-2378, E-mail: s.bina@mine.akita-u.ac.jp; Каримов Бежан Ҳабибуллоевич – Центр инновационного развития науки и

новых технологий НАНТ, младший научный сотрудник. Тел.: (+992) 906888000, E-mail: bejankarimv@gmail.com.

Information about the authors: Rahmatov Jamshed Shavkatovich – Center of Innovative Development of Science and New Technologies of NAST, Deputy Director for Science, Ph. Tel: (+992) 900020065, E-mail: jamesd007@rambler.ru; Qaisova Dursulton Fathovarovna - Center of Innovative Development of Science and New Technologies of NAST, researcher, Ph. Tel: (+992) 712499302, E-mail: dursulton@list.ru; Saeid Mohammadzadeh Bina - Graduate School of International Resource Sciences, Akita University, 1-1 Tegata-gakuencho, Akita 010-8502, Japan - Associate Professor. Tel: +81-18-889-2378, E-mail: s.bina@mine.akita-u.ac.jp; Karimov Bejan Khabibuloevich - Center of Innovative Development of Science and New Technologies of NAST, junior researcher, Ph. Tel: (+992) 906888000, E-mail: bejankarimv@gmail.com.

УДК 620/92

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПЛАТФОРМ И СИСТЕМ КРЕПЛЕНИЯ ДЛЯ ПЛАВАЮЩИХ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ СИСТЕМ (ПФС) В ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ ТАДЖИКИСТАНА

Расулов С.¹, Рахматов Дж.Ш.^{1,*}

¹ Центр инновационного развития науки и новых технологий Национальная академия наук Таджикистана

*Автор корреспонденции: E-mail: jamesd007@rambler.ru

Аннотация. В статье рассматриваются особенности конструирования платформ и систем крепления для плавающих фотовольтаических систем (ПФС), предназначенных для эксплуатации в горной местности Таджикистана. Анализируются основные технологические подходы, включая модульные конструкции с само балластировкой и системы с активным якорным креплением. Освещены вопросы устойчивости, влияния гидродинамических нагрузок и выбора материалов, устойчивых к климатическим экстремумам. Приведены примеры инженерных расчётов, позволяющих оценить плавучесть, устойчивость платформ и необходимые параметры якорного крепления. Работа подчеркивает перспективы дальнейших исследований, направленных на оптимизацию ПФС в условиях изменяющегося уровня воды и усиленных ветровых воздействий.

Ключевые слова: плавающие фотовольтаические системы, конструктивные решения, горная местность, якорное крепление, гидродинамические нагрузки.

Введение

Плавающая солнечная станция, также известна как фотовольтаика или плавающая фотовольтаика (ПФС). Это определение относится к солнечным панелям/установкам, которые плавают на поверхности водных объектов, естественных и искусственных водоёмов, и крепятся на плавучие конструкции, устойчиво удерживая их на плаву на зеркале водоёма. Основное требование - эти плавающие солнечные панели должны устанавливаться на незамерзающих естественных озёрах и искусственных водохранилищах, и необходимо

отметить, что они относительно спокойнее, чем моря и океаны. ПФС является экологически чистым методом производства электроэнергии. Оно сочетает в себе экологически чистые, возобновляемые энергетические технологии. Электричество направляется от этого плавающего объекта через подводные или надводные кабели к близлежащим подстанциям электроэнергетической системы. Ниже представлен наш научный анализ по традиционным плавающим фотовольтаическим системам, предназначенным для эксплуатации на водных поверхностях в горной

местности, с выделением существующих технологий и конструктивных решений [1-3].

Плавучая солнечная электростанция, представляет собой любую солнечную установку, которая расположена на конструкциях, которые плавают на поверхности воды. Солнечные батареи должны быть прикреплены к плавучей конструк-

ции, которая удерживает их над поверхностью. Плавучую солнечную установку, обычно устанавливают в озере, потому что вода здесь, как правило, более тихая, чем в море или в океане. Также широко распространены плавающие солнечные станции на больших искусственных водоёмах (рис. 1)

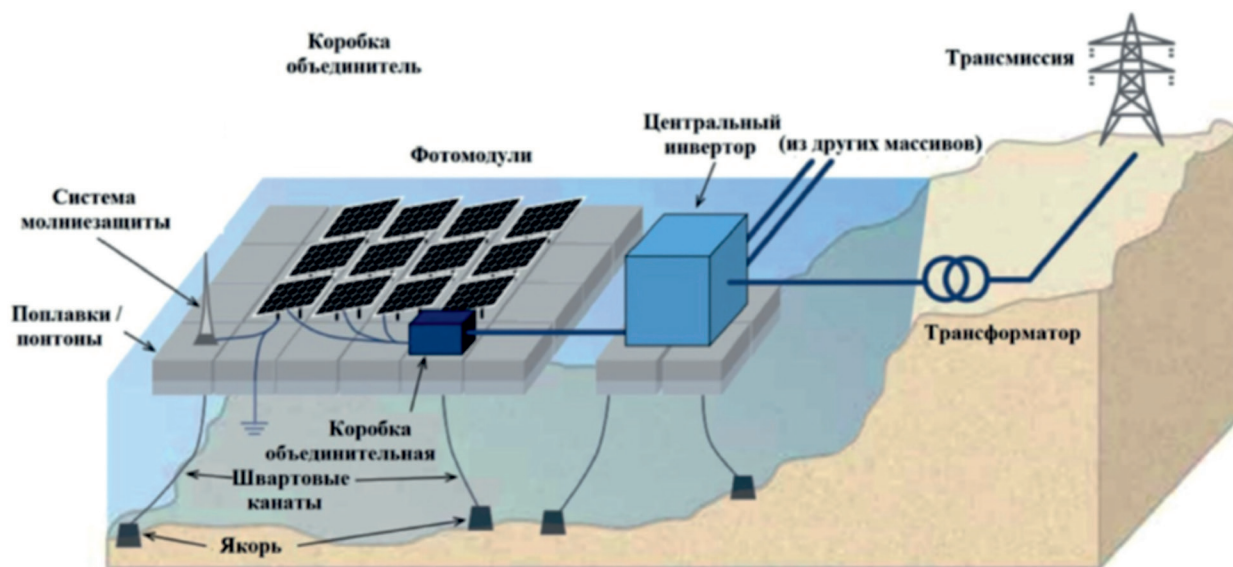


Рисунок 1. Плавучая солнечная электростанция.

По своей структуре плавучая СЭС представляет собой «скопление» солнечных батарей, находящихся на воде. Первые станции такого вида появились в 2008 году, что случилось относительно недавно. Впервые они были установлены в Китае, Японии и США. Как и у любого альтернативного источника, у плавучих станций есть свои плюсы и минусы. Плавучие солнечные электростанции часто устанавливаются на водоёмах существующих гидроэлектростанций [4].

1. Суть и специфика применения ПФС в горных условиях

Изначально ПФС проектировались для установки на водоёмах равнинного типа. Базовая идея применения ПФС в горных регионах, где водные поверхности (например, высокогорные озёра, водохранилища, искусственные пруды) подверже-

ны быстрым изменениям уровня воды, интенсивным ветровым нагрузкам и значительным температурным перепадам, сталкивается с новыми инженерными вызовами. С одной стороны, охлаждающий эффект водной поверхности улучшает эффективность солнечных панелей, с другой – динамические нагрузки и изменчивость гидродинамических условий требуют более тщательного подхода к конструированию платформ и систем крепления.

2. Основные технологические подходы и конструкции

В ходе анализа, были выявлены два основных подхода к реализации ПФС для горных условий:

1. Модульные системы с само балластировкой. Этот тип конструкций основан на использовании плавающих модулей, каждый из которых обладает

достаточной собственной плавучестью за счёт правильно подобранного балласта или специализированных композитных материалов. Такие системы не всегда требуют сложной якорной системы, если водные условия относительно спокойны. Однако в горных водоёмах, где резкие колебания уровня воды и волновые воздействия могут существенно изменяться, конструкции часто дорабатываются для повышения устойчивости. Так, Ху и соавторы (2020) [1] провели анализ динамики таких систем, подчёркивая важность адаптации балластной массы и геометрии элементов платформы.

2. Системы с активным якорным креплением. В условиях горной местности значимые колебания уровня воды и усиленные ветровые нагрузки зачастую требуют обязательного применения якорных систем. Такой подход предполагает использование тросов, подвесных и подводных элементов крепежа, что позволяет эффективно компенсировать динамическое воздействие воды. Kumar и Shukla (2019) [2] в своём исследовании продемонстрировали преимущества интегрированного якорного механизма, который позволяет распределить возникающие нагрузки по модульной конструкции, сохраняя её целостность даже при экстремальных условиях.

Современные разработки, помимо выбора базовой архитектуры, включают и ряд технологических особенностей:

- Материалы и покрытия. Для эксплуатации в горных регионах материалы

должны быть не только прочными, но и устойчивыми к агрессивному воздействию высокоинтенсивного ультрафиолетового излучения, резким перепадам температур и, иногда, химическим особенностям воды. Lee и соавторы (2018) [3] отмечают, что применение композитных материалов и инновационных антикоррозионных покрытий существенно повышает долговечность конструкций.

- Интерфейс с локальной энергетической инфраструктурой. В некоторых работах подчёркивалась возможность сочетания ПФС с гидроэнергетическими установками, что позволяет добиться синергетического эффекта, то есть гибридной системы. Такие интеграционные проекты требуют модульных решений, позволяющих, при необходимости, параллельно использовать фото- и гидроэнергию [5,6,9].

3. Преимущества и вызовы конструктивных решений в горной местности

Анализ современных ПФС демонстрирует, что хотя базовые принципы плавающих фотовольтаических систем сохраняются, специфические условия горной местности вносят ряд дополнительных требований:

- Преимущества:

Эффективность охлаждения: Постоянный контакт с водной поверхностью способствует снижению рабочей температуры панелей, что повышает их КПД (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительный анализ солнечных панелей, установленных на земле и на водной поверхности.

Параметр	Наземные панели	Плавучие панели (ПФС)
Средняя рабочая температура	45–70 °C	30–50 °C
Снижение КПД из-за перегрева	Да	Минимальное
Прирост эффективности	—	На 5–15% выше
Долговечность компонентов	Снижается при перегреве	Лучше сохраняется
Пылеобразование (soiling)	Высокое	Ниже (влажная среда)

- Сохранение земель: Использование водоёмов в горной местности позволяет избежать конфликтов с другими видами землепользования (например, сельское хозяйство или природоохранные территории), что очень важно для Таджикистана, так как 93% территории нашей страны является горной, то есть непригодной для сельского хозяйства и т.д.

- Основные вызовы:

- Гидродинамические и атмосферные нагрузки: Быстрые сезонные и суточные изменения уровня воды, усиленные ветровые и волновые воздействия требуют особенно надёжных конструктивных решений.
- Необходимость активного якорения: в условиях резких колебаний уровня воды, традиционные балластные системы порой оказываются недостаточными, поэтому становится обязательной интеграция с якорными системами.

Таким образом, существующие технологии для ПФС в горной местности базируются на двух основных концепциях—модульных системах с само балластировкой и системах с активным якорным

креплением. Каждая из них предъявляет свои требования к материалам, конструкции и методам монтажа, что требует дальнейшей интеграции инженерных и экологических исследований для оптимального применения непосредственно в специфических горных условиях.

Ниже приведены два примера расчётов, иллюстрирующих проектирование плавающей фотовольтаической системы (ПФС) в горной местности в рамках двух основных концепций: модульной системы с само балластировкой и системы с активным якорным креплением. Эти примеры упрощены для демонстрации основных принципов, а в реальном проектировании необходимо учитывать дополнительные динамические и климатические факторы.

1. Пример расчёта для модульной системы с само балластировкой (все расчёты теоретические).

Цель расчёта: для обеспечения плавучести при учёте массы панели и дополнительного балласта, определить минимальный объём конструкции (и, соответственно, её толщину при заданной площади).

Исходные данные:

Масса солнечной панели:

$$m_{\text{панели}} = 50, \text{кг},$$

дополнительный балласт и масса конструкции:

$$m_{\text{балл}} = 20, \text{кг},$$

$$\Rightarrow m_{\text{общ}} = 70, \text{кг},$$

площадь одного плавающего модуля:

$$A = 1, \text{м}^2,$$

ускорение свободного падения:

$$g = 9.81, \text{м/с}^2,$$

плотность воды:

$$\rho_{\text{воды}} = 1000, \text{кг/м}^3,$$

Шаг 1. Определение необходимой силы плавучести.

Сила, которую должна уравновесить конструкция, равна весу системы:

$$W = m_{\text{общ}} \cdot g = 70 \times 9.81 \approx 687 \text{ Н}$$

Шаг 2. Вычисление требуемого объёма вытесненной воды.

По принципу Архимеда максимальная сила плавучести определяется как:

$$F_{\text{плав}} = \rho_{\text{воды}} \cdot g \cdot V \text{ Для равновесия: } V = \frac{W}{\rho_{\text{воды}} \cdot g} = \frac{687}{1000 \times 9.81} \approx 0.07 \text{ м}^3$$

Шаг 3. Расчёт необходимой толщины платформы.

Если принять, что площадь модуля $A=1, \text{м}^2$, то требуемая толщина (t) равна:

$$t = \frac{V}{A} = \frac{0.07}{1} = 0.07 \text{ м.}$$

С учётом инженерного запаса (например, коэффициент безопасности 1.5), проектировочная толщина рекомендуется: $t_{\text{проект}} \approx 1.5 \times 0.07 \approx 0.105 \text{ м}$

Дополнительная оценка устойчивости (метацентрическая высота):

Для устойчивости конструкции важно, чтобы положение центра плавучести и центр тяжести обеспечивали положительную метацентрическую высоту, (GM). Приблизённо для простой прямоугольной платформы можно записать:

$$GM = \frac{I}{V} - (BG)$$

где, I – второй момент площади водной плоскости. Для квадрата со стороной 1 м:

$$I = \frac{1 \times 1^3}{12} \approx 0.0833, \text{м}^4;$$

BG – расстояние между центром плавучести и центром тяжести (например, примем $BG = 0.2 \text{ м}$).

Таким образом,

$$GM \approx \frac{0.0833}{0.07} - 0.2 \approx 1.19 - 0.2 = 0.99 \text{ м.}$$

Достаточная положительная величина GM свидетельствует о хорошей устойчивости модульной конструкции.

2. Пример расчёта для системы с активным якорным креплением

Цель расчёта: оценить горизонтальную нагрузку, воздействующую на плава-

ющий модуль, и определить ориентировочные требования к якорным элементам, способным обеспечить фиксацию конструкции при ветровых нагрузках.

Исходные данные:

Размеры плавающего модуля 2 м (ширина) $\times$ 3 м (длина) $\Rightarrow A_{\text{модуля}} = 6 \text{ м}^2$, общая масса модуля (включая панель и конструкцию) $m_{\text{модуля}} = 200 \text{ кг}$.

Параметры для расчёта ветровой нагрузки:

Коэффициент сопротивления (приблизённо для плоской конструкции) $C_d = 1.2$; плотность воздуха $\rho_{\text{возд}} = 1.225, \text{кг/м}^3$; проекция площади, ориентированная к ветру, примем $A_{\text{прое}} = 2 \text{ м}^2$; скорость ветра $V_{\text{ветра}} = 10, \text{м/с}$.

Шаг 1. Расчёт ветровой нагрузки.

Формула расчёта ветрового давления:

$$F_{\text{ветра}} = 0.5 \cdot C_d \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot A_{\text{прое}} \cdot V_{\text{ветра}}^2$$

Подставляя значения:

$$F_{\text{ветра}} = 0.5 \times 1.2 \times 1.225 \times 2 \times 100$$

$$F_{\text{ветра}} = 0.5 \times 1.2 \times 1.225 \times 2 \times 100 \approx 147 \text{ Н}$$

Шаг 2. Определение запаса прочности для якорного крепления.

Для надёжности часто используется коэффициент запаса (например, 3)

$$T_{\text{треб}} \approx 3 \times F_{\text{ветра}} \approx 3 \times 147 \approx 441 \text{ Н.}$$

Это означает, что система якорного крепления (или каждый из элементов, если нагрузка распределяется) должна обеспечивать реакцию не менее 441 Н.

Шаг 3. Оценка базы крепления якоря.

При расчёте якоря часто оценивают требуемую площадь опоры, исходя из допустимого сопротивления грунта. Допустим, устойчивость грунта даёт предел устойчивости $\sigma = 200 \text{ kPa}$ то есть 200000 Н/м^2 . Тогда минимальная площадь якоря равна

$$A_{\text{anchor}} = \frac{T_{\text{треб}}}{\sigma} = \frac{441}{200,000} \approx 0.0022 \text{ м}^2.$$

$$D_{\text{anchor}} = 2 \sqrt{\frac{A_{\text{anchor}}}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{1}{3.14}} \approx 1.12 \text{ м.}$$

Такой якорь (или равнозначная система якорей) обеспечивает достаточную устойчивость и предотвращает смещение плавающей конструкции под действием внешних сил.

Эти упрощённые примеры демонстрируют:

- Для модульной системы с самобалластировкой основной расчёт сводится к обеспечению достаточной плавучести (путем расчёта объёма вытесненной воды) и оценке устойчивости (так называемая метacentрическая высота).

- Для системы с активным якорным креплением расчёт направлен на определение горизонтальных внешних нагрузок (например, ветровых) и подбору таких якорных элементов, которые с учётом коэффициента запасов способны обеспечить стабильную фиксацию конструкции в условиях изменчивых водных и атмосферных параметров условной горной местности.

В реальных проектах расчёты проводятся с использованием детальных численных моделей, учитывающих динамическую нагрузку от волн, сезонные колебания уровня воды, вибрационные эффекты и взаимодействие с грунтовыми свойствами, так как каждая местность имеет свои специфические свойства. Эти

Это очень малая площадь, однако в инженерной практике применяются дополнительные коэффициенты безопасности и конструктивные решения, предусматривающие эксплуатационную площадь якоря порядка $0.5\text{--}1 \text{ м}^2$. Если принять, например, $A_{\text{anchor}} = 1 \text{ м}^2$, внутри конструктивного расчёта для круглой опоры можно определить диаметр якоря следующей формулой

примеры служат базовым ориентиром, который можно дополнить специализированными расчётами для конкретных условий эксплуатации.

Выводы

Современные исследования показывают, что применение ПФС в горной местности хотя и основано на уже проверенных технологиях, но требуют дополнительного внимания к вопросам устойчивости, материалам и системам крепления. Модульные конструкции с оптимизированной балансировкой, в сочетании с активным якорным креплением и современными материалами, представляют собой наиболее перспективное направление для дальнейших исследований и пилотных проектов. Дополнительные исследования в области численного моделирования динамических нагрузок и экспериментальные испытания в реальных горных условиях помогут значительно расширить рамки применения данной технологии [7,8].

Литература

1. Xu, Y., Li, H., & Wang, K. (2020). Performance Analysis of Floating Photovoltaic Systems in Mountainous Regions. *Journal of Renewable Energy*, 135, 123–130.
2. Kumar, R., & Shukla, A. (2019). Design Challenges and Technological Solutions for Floating Solar PV Systems in High-Altitude Reservoirs. *Solar Energy*, 182, 78–86.

3. Lee, J., Park, S., & Choi, Y. (2018). Stability Analysis of Floating Photovoltaic Panels under Dynamic Water Conditions in Mountainous Areas. *Renewable Energy*, 126, 956–965.
4. Юмаев Н.Р., Кодиров А.С., Рахматов Дж.Ш. Плавающие солнечные электростанции. Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии национальной академии наук Таджикистана. 2022. Т. 2. № 1. С. 75-80.
5. Расулов С., Юсуфбеков Н.Ш., Кодиров А.С., Рахматов Д.Ш., Кулулов М.А. Оценка возможности создания плавучей солнечной электростанции на водной поверхности Муминабадского водохранилища Хатлонской области / Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. № 3 (63) 2023, 29-33.
6. Джумаев Д.Ш., Илолов М., Расулов С., Рахматов Дж.Ш. О проблемах развития солнечной энергетики в горных регионах Таджикистана. Доклады Национальной академии наук Таджикистана. Т.68, №1, 2025, с. 58-63.
7. Mamadsho Ilolov, Khakim Ahmedov, Ahmadsho M. Ilolov, Anvar S. Qodirov, Jamshed Sh. Rahmatov, Narimon Sh. Yusufbekov. Analytical relationship between the electrical parameters of the PV array and external factors based on the Lambert W- function. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. Volume 9 Issue 12, December 2020. Paper ID: SR201211161232 DOI: 10.21275/SR201211161232. ISSN: 2319-7064 SJIF (2019): 7.583. pp. 986-991. (<https://www.ijsr.net/archive/v9i12/v9i123.php>).
8. Ilolov M., Inagaki F., Ilolov A., Kabirov Sh., Rahmatov J. Tracking Photovoltaic Systems at Mountain Heights. *SiliconPV 2023*, 13th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics Silicon Material and Defect Engineering <https://doi.org/10.52825/siliconpv.v1i.965>. Published: 29 Feb.2024. pp.1-10.
9. Рахмонов Ш.С., Хасанзода Б.М., Гулахмадзода А.А., Давлатшоев С.К. Солнечные панели в Таджикистане: Технологии, эффективность и перспективы внедрения. Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии национальной академии наук Таджикистана. Т.5, № 2, с. 44-50

ХУСУСИЯТҲОИ ТЕХНИКИИ ПЛАТФОРМАҲО ВА СИСТЕМАҲОИ НАСБКУНИИ СИСТЕМАҲОИ ФОТОВОЛТАИКИИ ШИНОКУНАНДА (СФШ) ДАР ОБАНБОРҲОИ СУНӢИ ТОҶИКИСТОН

Расулов С.¹, Раҳматов Қ.Ш. ^{1,*}

¹Маркази руидаи инноватсионии илм ва технологияҳои нави Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

*Муаллифи масъул: E-mail: jamesd007@rambler.ru

Шарҳи мухтасар. Дар мақола хусусиятҳои тарҳрезии платформаҳо ва системаҳои васлкунии барои системаҳои фотоэлектрикии шинокунанда (СФШ), ки барои истифода дар минтақаҳои кӯҳии Тоҷикистон пешбинӣ шудаанд, баррасӣ мешавад. Равишҳои асосии технологӣ, аз ҷумла тарҳҳои модулиҳои худбаластикӣ ва системаҳои пайвастаи ғаёл таҳлил карда мешаванд. Масъалаҳои устуворӣ, таъсири сарбориҳои гидродинамикӣ ва интиҳоби масолеҳи ба экстремумҳои иқлимӣ тобовар фаро гирифта шудаанд. Намунаҳои ҳисобҳои муҳандисӣ оварда шудаанд, ки имкон медиҳанд, ки шинокунӣ, устувории платформаҳо ва параметрҳои зарурии лангарро баҳо диҳем. Ин кор дурнамои таҳқиқоти минбаъдaro, ки ба оптимизатсияи СФШ дар шароити тағирёбии сатҳи об ва афзоиши таъсири шамол нигаронида шудааст, нишон медиҳад.

Калидвожаҳо: системаҳои шинокунандаи фотоэлектрикӣ, қарорҳои лоиҳавӣ, релефи кӯҳӣ, лангар, бори гидродинамикӣ.

FEATURES OF DESIGNING PLATFORMS AND ANCHORING SYSTEMS FOR FLOATING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS (FPS) IN ARTIFICIAL RESERVOIRS OF TAJIKISTAN

Rasulov S.¹, Rahmatov J.Sh.^{1,*}

¹ Center of Innovative Development of Science and New Technologies of the National Academy of Sciences of Tajikistan

*Corresponding author: E-mail: jamesd007@rambler.ru

Abstract. The article deals with the design of platforms and anchoring systems for floating photovoltaic systems (FPS) intended for operation in the mountainous terrain of Tajikistan. The main technological approaches are analyzed, including modular structures with self-ballasting and systems with active anchoring. The issues of stability, the influence of hydrodynamic loads, and the selection of materials resistant to climatic extremes are covered. Examples of engineering calculations are provided to assess the buoyancy and stability of platforms, as well as the necessary anchoring parameters. The paper highlights the prospects for further research aimed at optimizing PFS in conditions of changing water levels and increased wind effects.

Key words: floating photovoltaic systems, design solutions, mountainous terrain, anchoring, hydrodynamic loads.

Маълумот дар бораи муаллифон: Раҳматов Ҷамшед Шавкатович – Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нави АМИТ, муовини директор оид ба илм, номзоди илмҳои физикаю математика. Тел.: (+992) 900020065, E-mail: jamesd007@rambler.ru; Расулов Сабур – Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нави АМИТ, ходими пешбари илмӣ шӯъбаи моделсозии математикии равандҳои динамикӣ, номзоди илмҳои иқтисод. Тел.: (+992) 935119832, E-mail: sabur.rasulov@mail.ru

Сведения об авторах: Раҳматов Ҷамшед Шавкатович – Центр инновационного развития науки и новых технологий НАНТ, заместитель директора по науке, кандидат физико-математических наук. Тел.: (+992) 900020065, E-mail: jamesd007@rambler.ru; Расулов Сабур – Центр инновационного развития науки и новых технологий НАНТ, ведущий научный сотрудник отдела математического моделирования динамических процессов, кандидат экономических наук. Тел.: (+992) 935119832, E-mail: sabur.rasulov@mail.ru

Information about the authors: Rahmatov Jamshed Shavkatovich – Center of Innovative Development of Science and New Technologies of NAST, Deputy Director for Science, Phone: (+992) 900020065, E-mail: jamesd007@rambler.ru; Rasulov Sabur - Center of Innovative Development of Science and New Technologies of NAST, leading researcher of the Department of Mathematical Modeling of Dynamic Processes, Phone: (+992) 935119832, E-mail: sabur.rasulov@mail.ru.

ОБЗОР МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Султонзода Ш.М.^{1,*}, Раджабов М.Ш.¹¹Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

*Автор-корреспондент. Email: sultonzoda.sh@mail.ru

Аннотация. В статье представлен систематизированный обзор методов оптимизации, применяемых в энергетике. Рассмотрены три основные группы подходов: классические методы, метаэвристические алгоритмы, а также современные методы машинного обучения. Подчёркиваются преимущества и ограничения каждого подхода в контексте задач стратегического и оперативного планирования, прогнозирования, а также адаптивного управления ГЭС и каскадов. Сделан вывод о целесообразности интеграции различных методов в зависимости от сложности задачи и доступности исходных данных.

Ключевые слова: оптимизация, классические методы, метаэвристические алгоритмы, машинное обучение, гидроэнергетика, энергетические системы.

Введение

Методы оптимизации находят широкое применение в различных областях науки и техники, особенно в задачах управления и планирования функционирования сложных технических и природно-технических систем. Одной из таких систем является энергетика, где оптимизационные подходы используются как для стратегического планирования, так и для оперативного и краткосрочного управления режимами работы электростанций, в том числе гидроэлектростанций, объединённых в каскады. Современные энергетические системы представляют собой иерархически организованные, многоуровневые и взаимосвязанные структуры с высокой степенью сложности, динамичности и неопределённости.

Оптимизацию можно считать практическим инструментом для упрощения и решения линейных и нелинейных формул больших проблем и интерпретации решений. Оптимизация – это эффективный метод поиска ответа, который обеспечивает наилучший результат с наибольшей прибылью и наименьшими затратами.

Классификация методов оптимизации

Различные методы оптимизации эффективно применяются в самых разных областях человеческой деятельности. Значительные успехи достигнуты при анализе больших технических систем, таких как энергетические системы. Процессы в энергетической системе обычно описываются системой дифференциальных и алгебраических уравнений. Задачи оптимизации в энергетике могут относиться или к переходным режимам, когда обязательно приходится пользоваться системами дифференциальных уравнений, или к установившимся режимам, когда можно ограничиться рассмотрением систем алгебраических уравнений.

Методы оптимизации, применяемые при оптимизации в электроэнергетических системах можно условно разделить на три группы: Классические методы, метаэвристические методы и методы на основе машинного обучения (рис. 1). Далее будем подробно рассматривать методы каждой из этих групп.

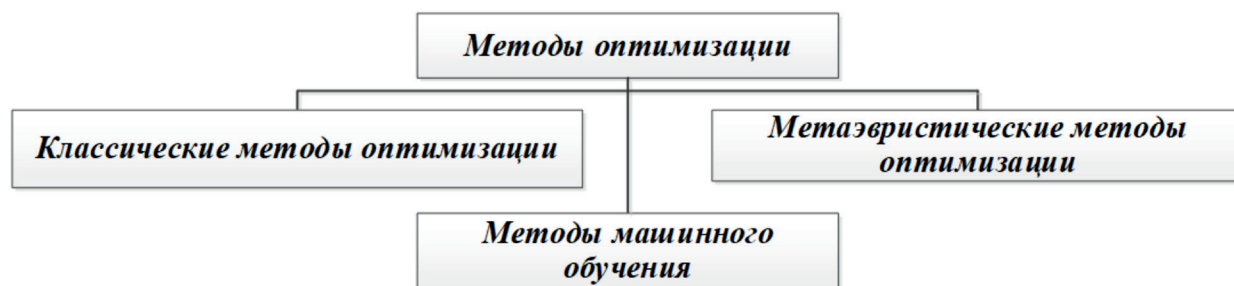


Рисунок 1. Методы оптимизации.

- ✓ Классические методы, такие как линейное и нелинейное программирование, динамическое программирование, метод множителей Лагранжа и другие, которые предполагают наличие точной информации о параметрах и условиях функционирования системы;
- ✓ Метаэвристические алгоритмы, включая генетические алгоритмы, алгоритмы роя частиц, муравьиные колонии, симуляцию отжига, которые эффективны при решении задач с большим числом переменных и ограничений, а также при наличии нелинейностей и неявных зависимостей;
- ✓ Машинное обучение, позволяющее строить модели прогнозирования и оптимизации на основе исторических данных, а также адаптироваться к изменяющимся условиям в реальном времени. В последние годы всё более активно применяются нейронные сети, ансамблевые методы, модели глубокого обучения и другие модели МО.

Классические методы оптимизации

Оптимизационные задачи в энергетике охватывают как эксплуатацию действующих электроэнергетических систем - включая электростанции, подстанции, линии электропередачи, сети и потребителей, так и проектирование, планирование и прогнозирование будущих объектов. Высокая сложность таких задач обуславливает необходимость использо-

вания вычислительных методов и мощных электронно-вычислительных машин (ЭВМ), особенно при учёте разнообразных технических ограничений на параметры режимов.

Значительный вклад в развитие теоретических основ и практических алгоритмов оптимального управления энергетическими режимами внесли такие учёные, как Д.А. Арзамасцев, В.А. Веников, В.М. Горнштен, В.Г. Журавлёв, В.И. Обрезков, Л.А. Крумм, Л.С. Беляев, И.М. Маркович, Т.А. Филиппова, Н.А. Мельников, В.М. Синьков, Е.В. Цветков, Allen J. Wood и др. [1-7].

В [8] выполнен подробный обзор методов и программ, разработанных на их основе, также выполнено сравнение методов и алгоритмов оптимизации режимов, внедрённых в практику планирования оптимальных режимов ЭЭС.

Согласно характеру критериев, задачи подразделяются на однокритериальные и многокритериальные; по типу целевой функции - на линейные и нелинейные; по характеру переменных - на непрерывные и дискретные; по учёту временного аспекта - на статические и динамические.

Существует широкий спектр классических методов оптимизации, различающихся по своим теоретическим основам, области применения и типу решаемых задач. Классификация классических методов оптимизации представлена на рис. 2.

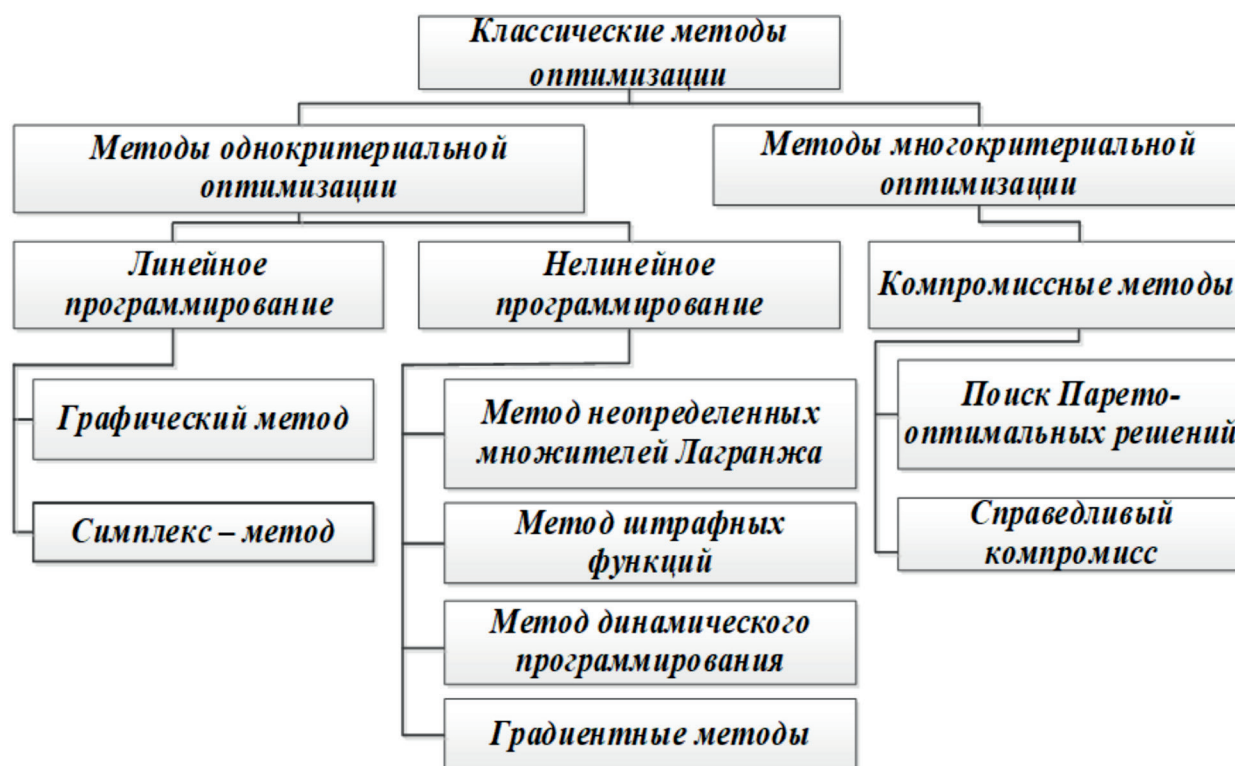


Рисунок 2. Классические методы оптимизации.

Основу большинства методов нелинейного программирования составляют приёмы дифференциального исчисления, адаптированные к учёту ограничений в форме равенств и неравенств. Наиболее распространённые подходы включают метод неопределённых множителей Лагранжа, модификации градиентных методов, а также методы второго порядка, такие как метод Ньютона и его вариации.

Наибольшее распространение в задачах оптимизации, связанных с энергетическими системами, получил метод Лагранжа. Его основное преимущество заключается в способности находить экстремум непрерывной функции при наличии уравнений связи, то есть ограничений, налагаемых на допустимые решения [4,7,9,10]. Суть метода заключается в преобразовании исходной целевой функции в так называемую функцию Лагранжа, которая одновременно учитывает как оптимизационный критерий, так и ограничения.

В [11] метод неопределённых множителей Лагранжа применён для краткосрочной оптимизации распределения нагрузки в гидротепловой энергосистеме Бразилии. Несмотря на широкую применимость, метод Лагранжа характеризуется увеличением размерности задачи за счёт введения дополнительных переменных — множителей. Поиск минимума функции Лагранжа может быть реализован с использованием градиентных методов или метода Ньютона.

Градиентные методы получили широкое применение при решении многомерных задач оптимизации, особенно в случае большого числа переменных [7]. Они основаны на вычислении приращений целевой функции и реализуют направленный поиск экстремума путём определения градиента — направления наискорейшего уменьшения или увеличения функции.

Основным недостатком градиентных методов является их чувствительность к выбору начального приближения и отсут-

ствие гарантии глобального экстремума, особенно в задачах с множественными локальными минимумами. Тем не менее, при решении унимодальных задач они обеспечивают высокую скорость сходимости и приемлемую вычислительную эффективность [4,12].

Одним из ключевых достоинств градиентного метода является относительная экономичность вычислений по сравнению с другими итерационными подходами. Градиентные алгоритмы обеспечивают высокую скорость сходимости при решении задач оптимизации, но чувствительны к выбору начального приближения. Кроме того, метод не гарантирует достижение глобального экстремума, поскольку результат во многом зависит от исходной точки поиска [13].

Метод Ньютона, относящийся к численным методам второго порядка, отличается высокой точностью и быстрой сходимостью, значительно превосходя по этому параметру методы первого порядка [14-16]. Основная идея заключается в использовании квадратичной аппроксимации целевой функции, что позволяет находить решение за небольшое число итераций — часто в пределах нескольких шагов.

Метод динамического программирования, предложенный Р. Беллманом в 1950-х годах, получил широкое применение в решении оптимизационных задач в электроэнергетике [6,7,15]. Его суть заключается в представлении процесса оптимизации как многоступенчатого — решение ищется последовательно, шаг за шагом, с учётом промежуточных состояний системы.

Метод штрафных функций применяется для преобразования задачи оптимизации с ограничениями в эквивалентную безусловную задачу за счёт включения ограничений в целевую функцию в виде штрафных добавок [3,4].

Метаэвристические методы оптимизации

За последние десятилетия были изобретены новые методы оптимизации, концептуально отличающиеся от традиционных. Большинство из них основаны на определённых характеристиках, присущих биологическим, молекулярным, физическим, нейробиологическим системам. Эвристические методы основаны на подсознательном мышлении и характеризуются неосознанным (интуитивным) способом действий для достижения осознанных целей. Эвристический алгоритм — это алгоритм решения задачи, правильность которого для всех возможных случаев не доказана, но про который известно, что он даёт достаточно хорошее решение в большинстве случаев [17].

Мета-эвристические алгоритмы можно разделить на следующие категории, такие как, включая эволюционные, роевые, физические, человеческие, биологические, системные, математические, музыкальные и вероятностные мета-эвристические алгоритмы [18]. Классификация Мета-эвристических методов оптимизации приведён на рис. 3.

Подробное исследование по применению метаэвристических алгоритмов в оптимизации гидроэнергетики приведён в [19], с обширным анализом применения метаэвристических алгоритмов оптимизации для управления выработкой электроэнергии на гидроэлектростанциях.

В [20] рассматривается методика оптимизации, разработанная для решения проблем эксплуатации водохранилищ в области водных ресурсов. Обсуждается и исследуется применение обычных, особенно эволюционных вычислений, комбинации моделирования-оптимизации и многоцелевой оптимизации в эксплуатации водохранилища.

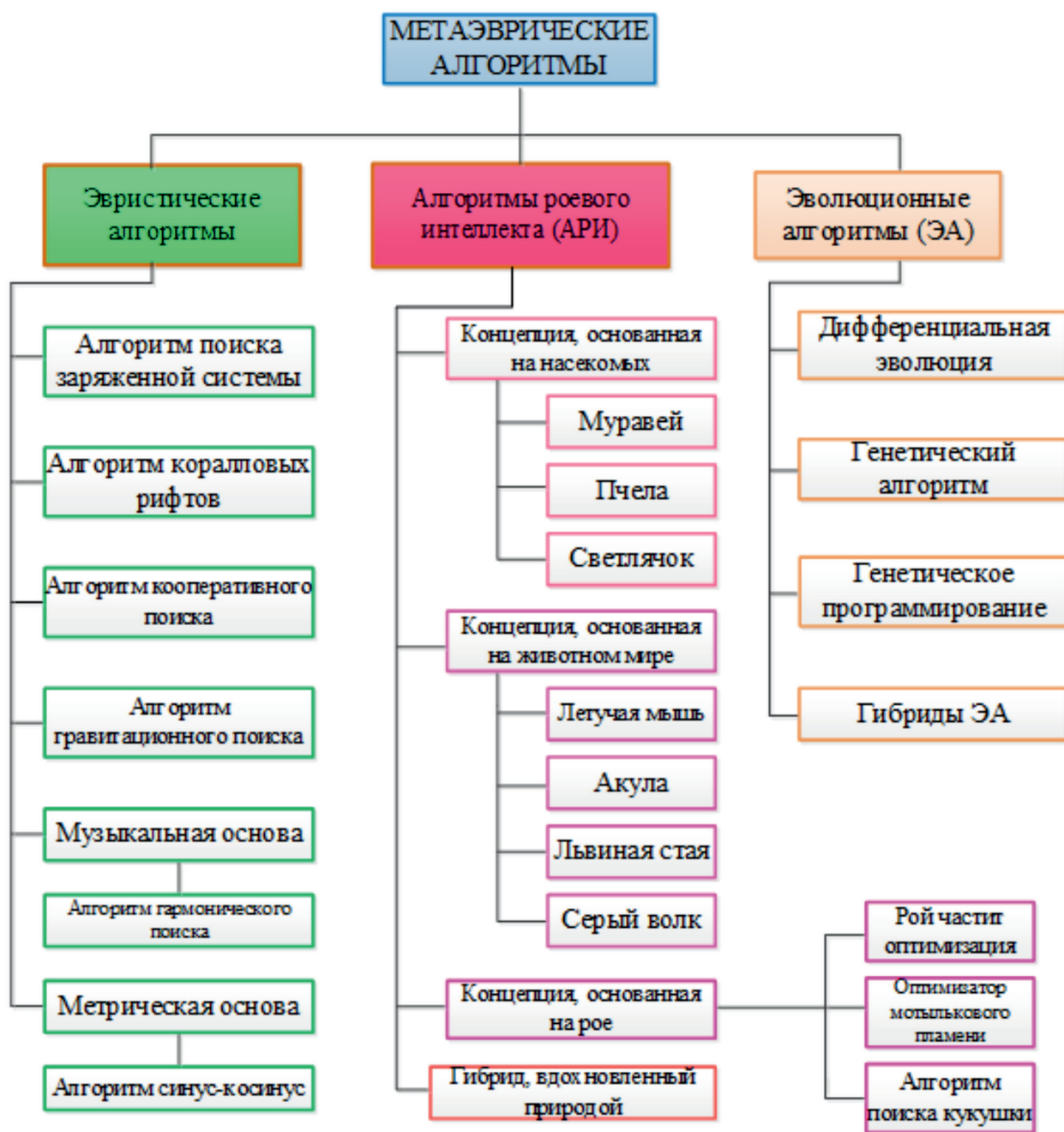


Рисунок 3. Метаэвристические методы оптимизации.

В [21] предложили новый алгоритм поиска молний с лягушачьим прыжком частиц, объединив его с хаотической инициализацией (картографированием), FLA и Оптимизация роя частиц (PSO). Оптимальная модель работы максимальной мощности генерации электроэнергетики строится с граничными условиями каскадных водохранилищ гидроэлектростанций.

В последние годы методы генетического алгоритма (ГА) находят всё более широкое применение при решении задач оптимизации в электроэнергетике, что отражено в ряде современных публикаций [22]. Одним из ключевых преимуществ генетического алгоритма является его способность с высокой вероятностью приближаться к оптимальному решению при относительно невысоких вычислительных затратах.

Методы оптимизация на основе машинного обучения

Развитие машинного обучения (МО) за последнее десятилетие открыло новые горизонты для решения сложнейших задач в энергетике и особенно в гидроэнергетических системах. Машинное обучение стало неотъемлемым и даже обязательным инструментом в современной энергетике, преобразуя подходы к моделированию, проектированию и прогнозированию в условиях растущего спроса и

сложности систем. Его применение охватывает широкий спектр задач в энергетике, включая оптимизации режимов ГЭС и каскадов ГЭС, прогнозирования нагрузки, выработки энергии, интеграции возобновляемых источников энергии, прогнозирования речного стока, управление водохранилищами и адаптации к изменению климата [23-28]. Классификация моделей на основе машинного обучения, используемая в различных задачах энергетики, приведена на рис. 4.

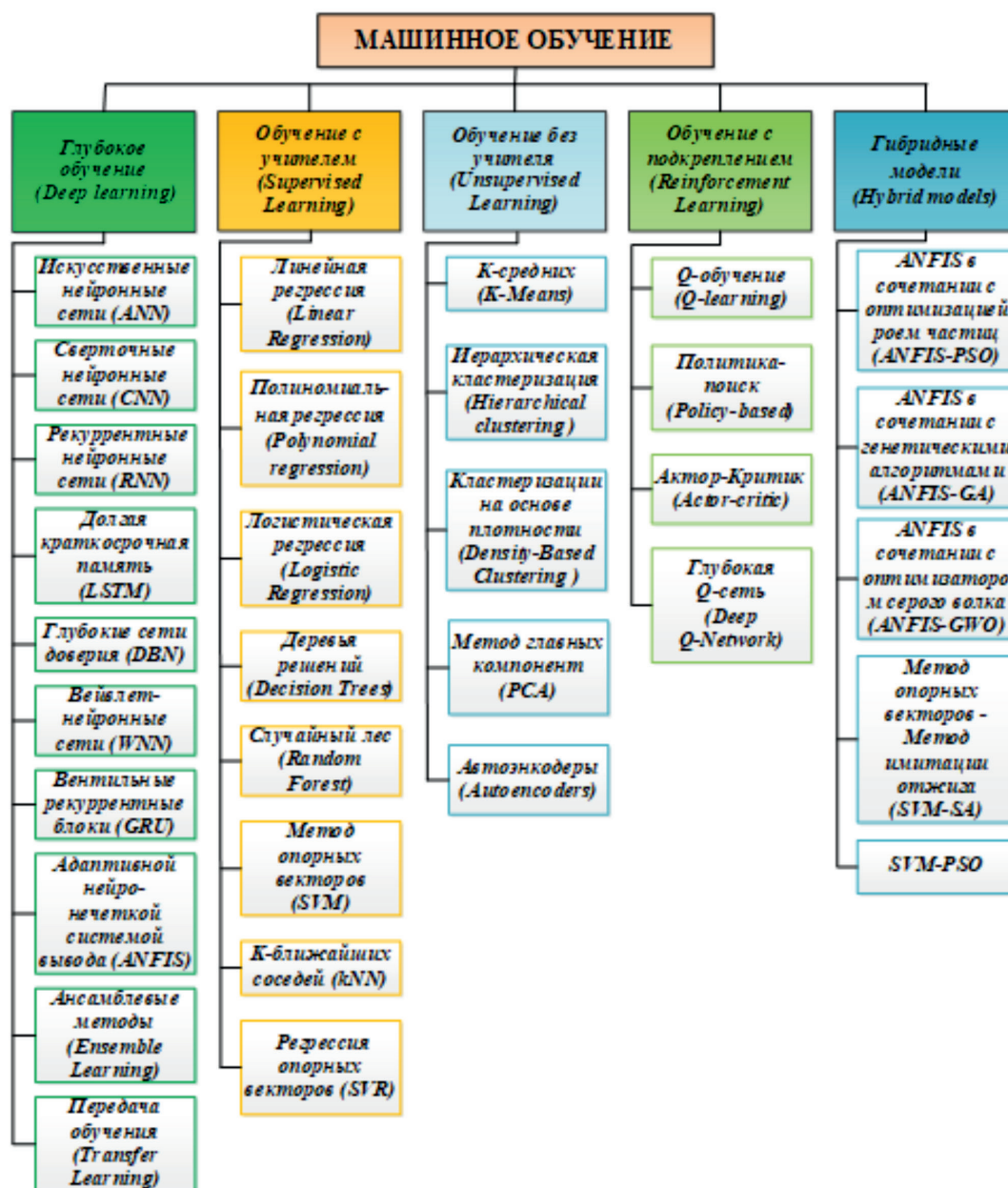


Рисунок 4. Модели машинного обучения в энергетике.

В гидроэнергетике модели МО, включая нейронные сети, генетические алгоритмы, деревья решений и ансамблевые методы, используются для точного прогнозирования притоков в водохранилища, оптимизации графиков сброса воды и управления рисками наводнений. В контексте каскадов ГЭС, МО позволяет интегрировать многошаговые прогнозы стока с многоцелевой оптимизацией, повышая эффективность распределения водных ресурсов и снижая колебания нагрузки в сети [25]. В исследовании [25] был проведён обзор ранее опубликованных научных работ, посвящённых применению методов машинного обучения (ML) в управлении дамбами и водохранилищами. За последние годы широко изучались возможности моделей ML для: прогнозирования притоков в водохранилища, оптимизации графиков водосбросов, управления рисками наводнений. Особое внимание учёных было сосредоточено на преодолении сложностей, вызванных изменчивостью климата и растущими потребностями в водных ресурсах.

В рамках исследования [27] была разработана модель краткосрочного прогнозирования электрической нагрузки для диспетчерского управления электроэнергетической системой Республики Таджикистан на основе метода опорных векторов (SVM), оптимизированного с использованием алгоритма роя частиц (PSO). Полученные результаты подтвердили высокую точность и надёжность предложенной модели при прогнозировании энергопотребления.

В работе [23] представлен всесторонний обзор современных подходов применения методов машинного обучения (ML) в задачах прогнозирования, моделирования и оптимизации в энергетическом секторе. Целью исследования является систематизация существующих решений и технологий ML, используемых на различных этапах функционирования энер-

госистем: от генерации и распределения до потребления и технического обслуживания оборудования.

Применение моделей МО включает прогнозирование потребления энергии, прогнозирование спроса, прогнозирование затрат, оценку скорости ветра, прогнозирование нагрузки, прогнозирование солнечной радиации, ранжирование, различные задачи оптимизации, прогнозирование выработки электроэнергии, оценку качества электроэнергии, прогнозирование временных рядов, распределение нагрузки, прогнозирование скорости ветра, прогнозирование спроса на электроэнергию, прогнозирование рисков, планирование хранения, контроль энергопотребления, управление пиковой нагрузкой, динамическое ценообразование на электроэнергию, минимизацию затрат, оценку заряда аккумуляторных батарей, прогнозирование цен и многое другое. Тенденция к развитию гибридных моделей МО продолжит обеспечивать более высокую производительность и сложность энергетических моделей.

В целом, интеграция машинного обучения в энергетические системы является фундаментальным шагом к созданию более устойчивой, эффективной и адаптивной энергетической инфраструктуры, способной справиться с вызовами будущего и изменением климата.

Выводы

Обзор методов оптимизации, применяемых в энергетике, позволяет сделать вывод:

Классические методы оптимизации, основанные на линейном и нелинейном программировании, остаются актуальными для задач с формализуемой структурой, ограниченным числом переменных и полной информацией о системе. Они обеспечивают строгость и доказуемость решений, но теряют применимость при высокой размерности задач, стохастической неопределённости и нелинейных связях,

характерных для современных энергосистем.

Метаэвристические алгоритмы демонстрируют высокую эффективность при решении сложных задач оптимизации с множеством критериев, переменных и ограничений. Их преимущество — адаптивность и способность работать в условиях неполной информации и высокой неопределённости. Несмотря на отсутствие строгой гарантии глобального оптимума, эти методы активно применяются в энергетике, особенно в задачах интеграции ВИЭ и распределённых энергоресурсов.

Методы МО обладают высокой прогностической способностью, позволяя моделировать нелинейные зависимости, выявлять скрытые закономерности и работать с большими объёмами разнородных данных. Они наиболее эффективны в условиях стохастической неопределённости, например, при прогнозировании притока воды или генерации ВИЭ. Основные ограничения связаны с необходимостью больших обучающих выборок, высокой вычислительной сложностью и проблемой интерпретируемости моделей.

Таким образом, эффективное управление энергетическими системами требует интеграции различных методов оптимизации с учётом сложности задачи, динамики объекта и доступности данных.

Литература

1. Крумм Л.А. Методы оптимизации и управления электроэнергетическими системами. - Новосибирск: Наука, 1980. - 317 с.
2. Цветков Е.В., Алабышева Т.М., Парфенов Л.Г. Оптимальные режимы электростанций в энергетических системах. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 304 С.
3. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем: Учебник для вузов / В.А. Веников, В.Г. Журавлев, Т.А. Филиппова. -М.: Энергоиздат, 1981, 464 С.
4. Методы оптимизации режимов энергосистем / В.М. Горнштейн, Б.П. Мирошниченко, А.В. Пономарев и др. Под ред. В.М. Горнштейна - М. Энергия, 1981 - 336 С.
5. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем : учебник / Т.А. Филиппова, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина; Новосибирск, 2007. - 356 С.
6. Zhu J. OPTIMIZATION OF POWER SYSTEM OPERATION. IEEE ed. New Jersey.: John Wiley & Sons, 2009.
7. Power Generation Operation and Control - Third ed. / Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, Gerald B. Sheble. New York : John Wiley & Sons , 2013.
8. В.А. Веников, В.И. Идельчик. Методы оптимизации управления планированием больших систем энергетики (оптимизация развития и функционирования). - М.: ВИНТИ, 1974. - 237 с
9. Маркович И.М. Оптимизация режимов Энергетических систем / М.: МЭИ, 1967 - 72 с.
10. Горштейн В.М. Наивыгоднейшее режимы работы гидростанций в энергосистемах. - М.: Горэнергоиздат, 1959. - 248 С.
11. Solving the Short-Term Scheduling Problem of Hydrothermal Systems via Lagrangian Relaxation and Augmented Lagrangian / Rafael N. Rodrigues, Edson L. da Silva, Erlon C. Finardi, Fabricio Y. K. Takigawa // Mathematical Problems in Engineering. Volume 2012, Article ID 856178, 18 pages. doi:10.1155/2012/856178.
12. Асу и оптимизация режимов энергосистем: Учеб. пособие для студентов вузов / Арзамасцев Д.А., Бартоломей П.И., Холян А.М. Под ред. Д.А. Арзамасцева. - М.: Высш. шк. 1983 -208 С.
13. Рокотян И.С., Федоров Д.А. Применение нелинейного математического программирования в энергетических задачах. - М.: МЭИ, 1983-52 с.
14. Веников В.А., Журавлев В.Г., Филиппова Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. - М.: Энергоиздат, 1981. -464 с.
15. Беллман Р. Динамическое программирование. - М.: Изд-во иностр. лит., 1960.-400 с.
16. Методы оценки и оптимизация параметров ветроэнергетических установок / Махсумов И.Б., Исозода Д.Т., Давлатзода А.Н., Носиров И.С. // Водные ресурсы, Энергетика и Экология. 2024. т.4, №3. -С.104-110.
17. Lai, V.; Huang, Y.F.; Koo, C.H.; Ahmed, A.N.; El-Shafie, A. A Review of Reservoir Operation Optimisations: From Traditional Models to Metaheuristic Algorithms. Arch. Comput. Methods Eng. 2022, 29, 3435–3457.
18. A.S. Azad, M.S.A. Rahaman, J. Watada et al. Optimization of the hydropower energy generation using Meta-Heuristic approaches: A review. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.08.009> // Energy Reports. 2020. No. 6. pp. 2230–2248.

19. A. Ahmad : A. El-Shafie: S. F. M. Razali: Z. S. Mohamad. Reservoir Optimization in Water Resources: a Review // Water Resour Manage. 2014. Vol. DOI 10.1007/s11269-014-0700-5.
20. Tao, Y.; Mo, L.; Yang, Y.; Liu, Z.; Liu, Y.; Liu, T. Optimization of Cascade Reservoir Operation for Power Generation, Based on an Improved Lightning Search Algorithm. Water 2023, 15, 3417. <https://doi.org/10.3390/w15193417>
21. Optimal Reservoir Operation Using Multi-Objective Evolutionary Algorithm / M. JANGA REDDY and D. NAGESH KUMAR // Water Resources Management (2006) 20: pp. 861–878
22. Mosavi A., Salimi M., Ardabili S.F., Rabczuk T., Shamshirband S., Varkonyi-Koczy A. State of the art of machine learning models in energy systems, a systematic review. Energies, 2019, № 12(7), pp. 1301, DOI:10.3390/en12071301.
23. Оценка эффективности интеллектуальных систем учета потребления электрической энергии / Рахимзода Дж.Б., Вохидов М.М., Кудратова Д.Дж. // Водные ресурсы, Энергетика и Экология. 2025. т.5, №1. -С.81-87
24. Al-Nouti A.F., Balogun A.-L., Al-Ansari N., Yaseen Z.M. Reservoir Operation Based Machine Learning Models: Comprehensive Review for Limitations, Research Gap, and Possible Future Research Direction // Knowledge-Based Engineering and Sciences, 2024.. Vol. 5, № 2. - pp C. 75–139. DOI: 10.51526/kbes.2024.5.2.75-139.
25. Сафаралиев М.Х. и др. Адаптивные ансамблевые модели для среднесрочного прогнозирования выработки электроэнергии гидроэлектростанциями в изолированных энергосистемах с учётом изменений температуры // Электротехнические системы и комплексы. 2022. т. 1, № 54, С. 38-45.
26. Махмаджонов Ф.Д. Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки энергосистемы Республики Таджикистан с использованием эволюционного алгоритма. // Политехнический вестник. Серия: Серия Инженерные исследования. №4 (60), 2022. –Душанбе: ТТУ имени акад. М.С. Осими, 2022. т. 4, № 60, С. 24-28.

ШАРҲИ УСУЛҲОИ ОПТИМИЗАТСИЯ ДАР СОҲАИ ЭНЕРГЕТИКА

Султонзода Ш.М.^{1,*}, Рачабов М.Ш.¹

¹Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

*Муаллифи масъул. E-mail: sultonzoda.sh@mail.ru

Шарҳи мухтасар. Дар мақола шарҳи систематиконидашудаи усулҳои оптимизатсия, ки дар соҳаи энергетика истифода мешаванд, пешниҳод гардидааст. Се гурӯҳи асосии равишҳо баррасӣ шудаанд: усулҳои классикӣ, алгоритмҳои метаэвристикӣ ва усулҳои муносири омӯзиши мошинӣ. Афзалиятҳо ва маҳдудиятҳои ҳар як равиш дар заминаи масъалаҳои банақшагирии стратегӣ ва оперативӣ, пешгӯӣ ва идоракунии мутобиқишавандаи НБО ва каскадҳои он таъкид мегарданд. Хулоса бароварда мешавад, ки муттаҳидсозии усулҳои гуногун вобаста ба мушкилоти масъала ва мавҷудияти маълумоти ибтидоӣ мақсаднок мебошад.

Калидвожаҳо: оптимизатсия, усулҳои классикӣ, алгоритмҳои метаэвристикӣ, омӯзиши мошинӣ, гидроэнергетика, системаҳои энергетикӣ.

A REVIEW OF OPTIMIZATION METHODS IN ENERGY SYSTEMS

Sultonzoda Sh.M.^{1,*}, Rajabov M.Sh.¹

¹Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi

*Corresponding author. Email: sultonzoda.sh@mail.ru

Abstract. The article presents a systematized review of optimization methods applied in the energy sector. Three main groups of approaches are considered: classical methods, metaheuristic algorithms, and modern machine learning techniques. The advantages and limitations of each approach are highlighted in the context of strategic and operational planning, forecasting, and adaptive management of hydropower plants and cascades. The study concludes that the integration of various methods is advisable depending on the complexity of the problem and the availability of initial data.

Keywords: optimization, classical methods, metaheuristic algorithms, machine learning, hydropower, energy systems.

Сведения об авторах: Султонзода (Султонов) Шерхон Муртазо – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электрические станции» Таджикского технического Университета имени академика М.С. Осими. Тел.: (+992)937004444, Email: sultonzoda.sh@mail.ru, Раджабов Мирзошариф Шарифович – Докторант PhD кафедры «Электрические станции» Таджикского технического Университета имени академика М.С. Осими, Email: m.sharif95@mail.ru.

Маълумот оиди муаллифон: Султонзода (Султонов) Шерхон Муртазо – н.и.т., дотсент, мудири кафедрои неругохҳои электрикии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, Тел.: (+992) 937004444, Email: sultonzoda.sh@mail.ru, Раҷабов Мирзошариф Шарифович – Доктор PhD кафедрои неругохҳои электрикии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, Email: m.sharif95@mail.ru.

Information about the authors: Sultonzoda (Sultonov) Sherkhon Murtazo – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Electric Power Stations, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. Phone: (+992) 937004444, Email: sultonzoda.sh@mail.ru; Rajabov Mirzosharif Sharifovich – PhD Doctoral Student, Department of Electric Power Stations, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. Email: m.sharif95@mail.ru

УДК: 620.92 621.311

МИНИ ГАЭС ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА, СНАБЖАЕМОГО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ ОТ ВИЭ

Халиков Х.Х.^{1,*}, Петров Г.Н.²

¹Таджикско-Американское совместное предприятие «Анзоб»

²Орловский Государственный Университет имени И. С. Тургенева, Россия, г. Орёл

*Автор-корреспондент. E-mail: hona-tj@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен вариант использования в качестве регулятора-аккумулятора энергии для ВИЭ индивидуальных сельских энергопотребителей мини гидроаккумулирующих станций (МиниГАЭС). Предложен метод оптимизации их параметров и показана практическая возможность их строительства и использования.

Ключевые слова: водонапорная башня Рожновского, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), гидроаккумулирующие станции (ГАЭС), индивидуальные хозяйства, критерий оптимизации, мёртвый объём, обратимая насос-турбина, регулятор-аккумулятор энергии, солнечные и ветровые электростанции, химические аккумуляторы, энергоёмкость.

Введение

Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) вот уже несколько последних десятилетий является одним из основных трендов развития энергетики в большинстве стран мира [1].

В настоящее время по абсолютным показателям (суммарной мощности ВИЭ) первое место в мире с большим отрывом от следующих за ним стран занимает Китай, а по относительным (мощность ВИЭ на одного жителя или единицу территории страны) – самые развитые государства Европы – Германия, Испания, Португалия и др. [2].

К сожалению, при всех своих несомненных достоинствах ВИЭ обладает существенным недостатком – резкими по времени колебаниями выработки электроэнергии, прежде всего для основных типов ВИЭ – солнечных и ветровых электростанций [3, 4]. Именно это явилось основной причиной мощного блекаута в Испании и Португалии 28 апреля 2025 года, захватившего даже соседние страны [5, 6].

Чаще всего применяемые для суточного выравнивания выработки электроэнергии ВИЭ химические аккумуляторы недостаточно эффективны и, кроме того, требуют использования редкоземельных

материалов, что само по себе является существенной проблемой [7, 8].

В то же время хорошо известна и в последнее время все чаще начинает применяться в промышленных масштабах технология выравнивания выработки электроэнергии с помощью гидроаккумулирующих станций (ГАЭС), лишённая всех недостатков химических аккумуляторов [9].

Здесь опять на первом месте в мире находится Китай, где общая мощность ГАЭС на сегодня составляет 50 ГВт и в ближайшие годы планируется её увеличение до 199 ГВт. В декабре 2024 года в Китае введена в строй крупнейшая в мире ГАЭС установленной мощностью 3,6 ГВт и выработкой 6,61 млрд. кВтч в год [10].

Методы и результаты

В Таджикистане развитие ВИЭ находится на только начальном этапе и используются исключительно для индивидуальных хозяйств и для малого бизнеса [11]. В то же время Таджикистан обладает уникальными водными ресурсами, в том числе малыми водотоками, практически равномерно распределёнными на всей территории расселения его жителей [12].

В результате в качестве регулятора-аккумулятора энергии для ВИЭ в Таджикистане может использоваться МиниГАЭС в виде металлических баков для воды и на опоры (рис. 1), в которой размещена обратимая насос-турбина [13]. В качестве нижнего бассейна МиниГАЭС может использоваться любой водоток или специальный бассейн у её основания.

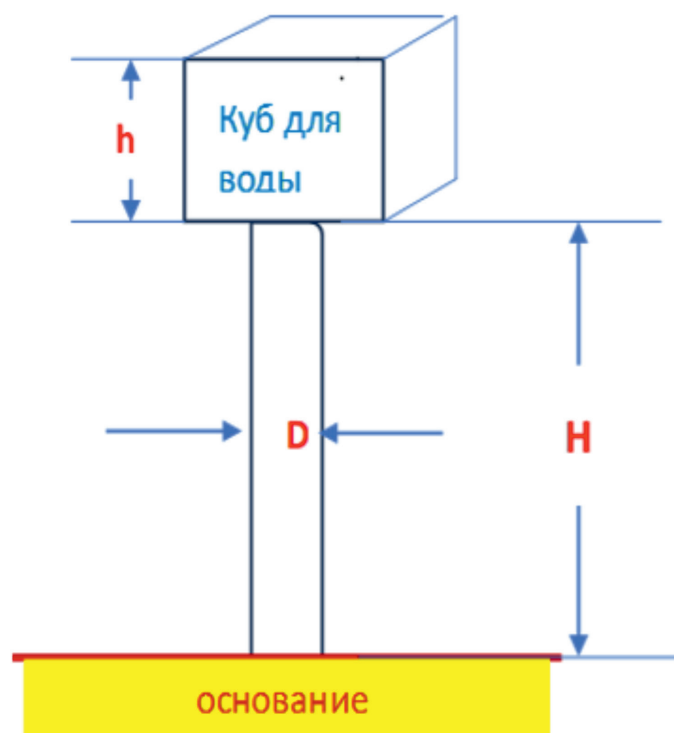


Рисунок 1. Схема МиниГАЭС.

Энергоёмкость такой МиниГАЭС с баком для воды в виде куба может быть рассчитана по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{МиниГАЭС}} = mg\left(H + \frac{h}{2}\right) = h^3 \rho g \left(H + \frac{h}{2}\right) \quad 1)$$

где:

m – масса воды в баке ($m = h^3\rho$),

h – длина ребра бака для воды,

ρ – плотность воды.

В качестве примера рассчитаем параметры МиниГЭС для сельского жилого дома на 6 человек, энергоснабжение которого осуществляется солнечными панелями. Необходимый объём электропотребления для такого дома будет равен [14]:

$$600 \text{ кВт.}/\text{месяц} = 20 \text{ кВт.ч}/\text{сутки}$$

Отсюда, с учётом, что потребление энергии в ночное время существенно ниже, чем в дневное, энергоёмкость МиниГЭС для этого случая можно принять равной:

$$\text{ЭМГЭС} = 5,5 \text{ кВт.ч}/\text{сутки} = 2 \cdot 10^7 \text{ Дж.}$$

Подставив это значение в уравнение (1), получим зависимость для расчёта параметров МиниГЭС:

$$H = \frac{\text{Э}_{\text{МиниГЭС}}}{h^3 \rho g} - \frac{h}{2} = \frac{2 \cdot 10^7 \text{ Дж}}{h^3 1000 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot 9,81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}} - \frac{h}{2} \quad 2)$$

Решая её, получим график зависимости $H - f(h)$, показанный на рис. 2.

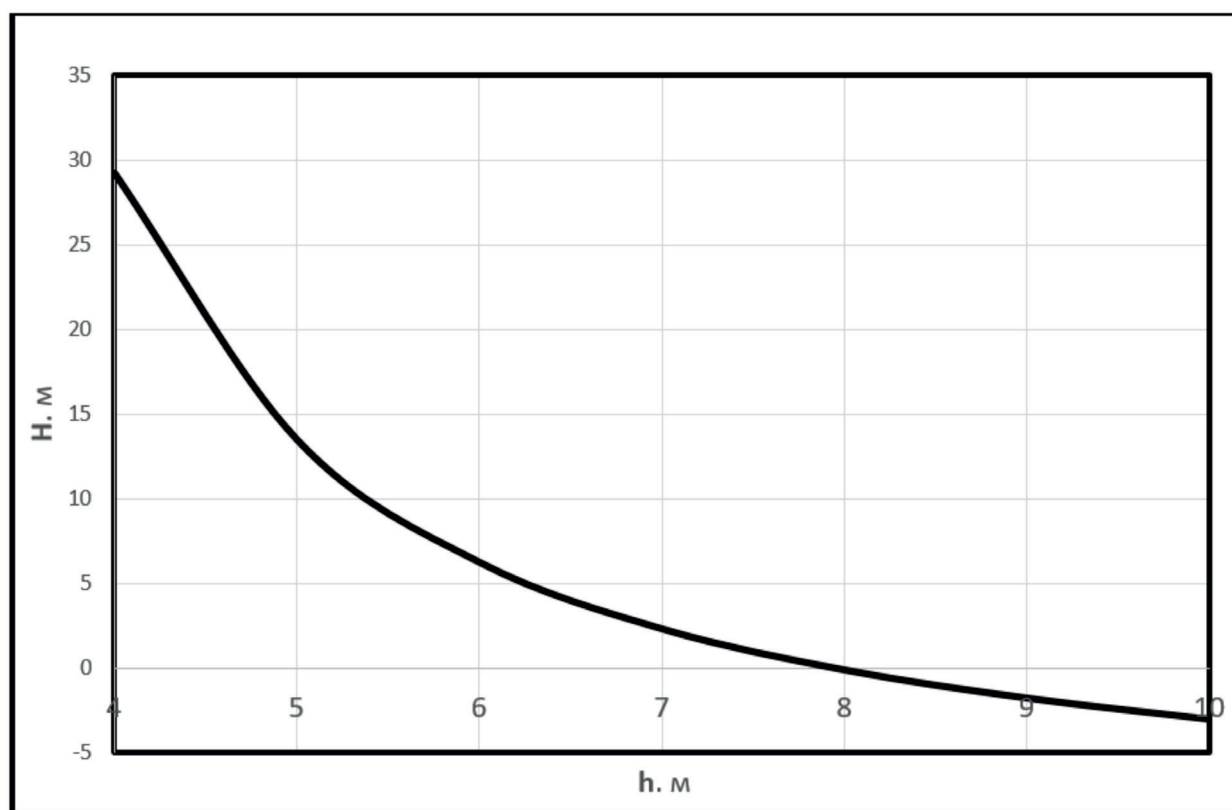


Рисунок 2. Зависимость $H = f(h)$.

Для того, чтобы из множества пар значений $H - h$, представленных на рис. 2, выбрать наилучшее, в качестве критерия оптимизации примем минимизацию затрат на сооружение МиниГЭС. С учётом того, что все затраты в данном случае состоят из стоимости металла бака с опорой и работ по их изготовлению и уста-

новке, прямо пропорциональных первой, а сама стоимость металла также пропорциональна его весу или объёму, который в свою очередь, при одной и той же толщине металла прямо пропорционален суммарной площади стенок бака и трубчатой опоры $\{\Sigma S\}$, получим критерий оптимизации в виде:

$$\Sigma S = 6h^2 + \pi DH = 6h^2 + \pi D \left(\frac{\vartheta}{h^3 \rho g} - \frac{h}{2} \right) \rightarrow \min \quad 3)$$

График зависимости $\Sigma S=f(h)$, приведённый на рис. 3, показывает, что такой минимум действительно существует.

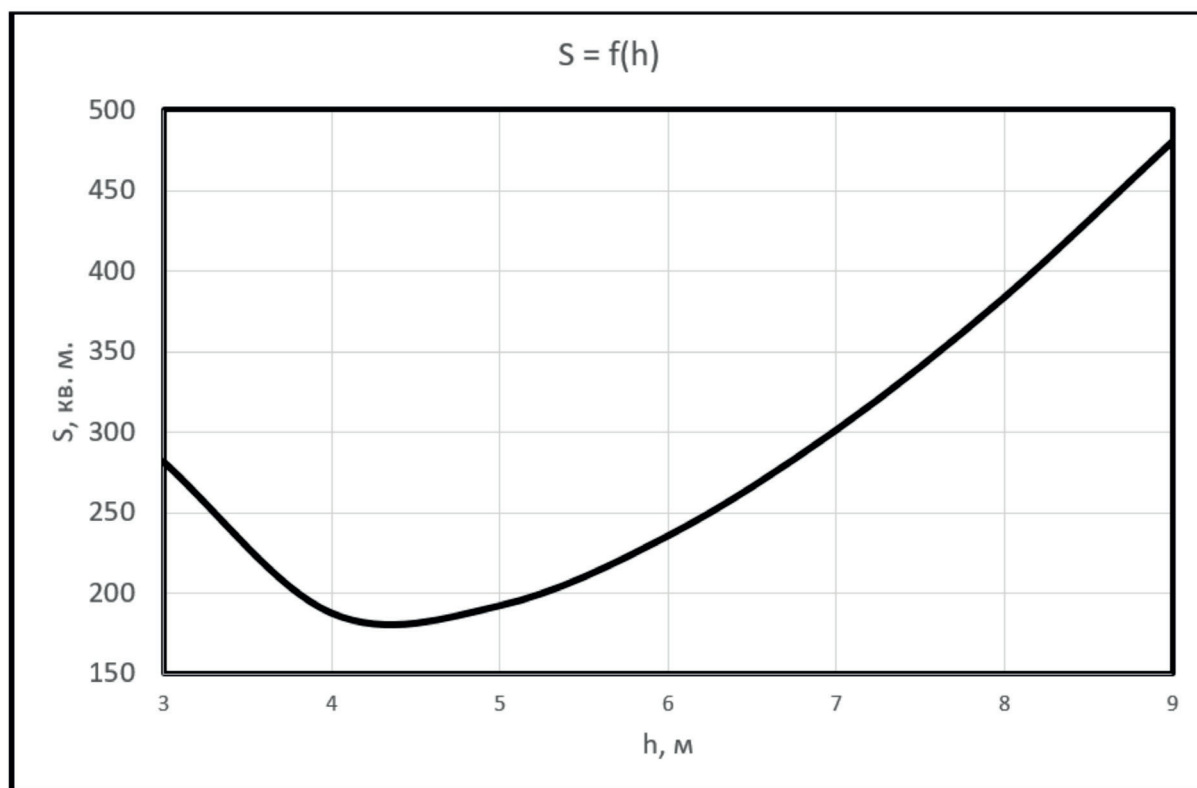


Рисунок 3. График зависимости $\Sigma S=f(h)$.

Необходимо только учесть, что поиск оптимума в данном случае можно вести только в диапазоне положительных значений h , так как при отрицательных его значениях в кубе-регуляторе образуется

«мёртвый объём» воды, не участвующий в выработке электроэнергии.

Числовое значение образующей куба h найдём, дифференцируя выражение (3) и приравнявая его нулю:

$$\frac{dS}{dh} = 12h - \pi D \left(\frac{3\vartheta}{h^4 \rho g} + \frac{1}{2} \right) = 0 \quad 4)$$

Откуда непосредственно получим значение:

$$h_{\text{опт}} = 4,38 \text{ м.}$$

и, окончательно, подставляя $h_{\text{опт}}$ в уравнение (2), найдём:

$$H_{\text{опт}} = 21,55 \text{ м.}$$

Практическая возможность сооружения МиниГАЭС с такими параметрами подтверждается выпускаемыми серийно водонапорными башнями Рожновского с

баками объёмом от 15 до 160 м³ и высотой стойки до 30 м. [15].

Выводы

1. Одним из самых простых и надёжных аккумуляторов для ВИЭ, используемых для энергоснабжения индивидуальных домов и малого бизнеса в Таджикистане, могут быть МиниГАЭС в виде металлического бака для воды, под-

нятого на необходимую высоту на трубчатой стойке.

2. Предложенный в статье метод позволяет оптимизировать параметры таких МиниГАЭС с использованием критерия минимизации затрат на их изготовление и установку.

3. Серийно выпускаемые в России водонапорные башни Рожновского показывают реальную возможность дешёвого и массового производства МиниГАЭС.

Литература

1. List of countries by renewable electricity production. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_renewable_electricity_production
2. Renewable energy industry. https://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy_industry
3. Белобородов С. С. Влияние суточной и сезонной неравномерности выработки электроэнергии солнечными и ветровыми электростанциями на структуру генерирующих мощностей в энергосистеме Германии. <http://elst.energy-journals.ru/index.php/elst/article/view/1369>
4. Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply [Text] // Federal Ministry of Economics and Technology, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, 2010. -- 28 September.
5. Над всей Испанией безоблачное небо. Monocle.ru. <https://dzen.ru/a/aCESHR8AugyhygSK>
6. Наталья Быкова, Владимир Веретенников. Физика современных блэкаутов. <https://monocle.ru/monocle/2025/20/fizika-sovremennykh-blekaotov/>
7. Аккумуляторы для рынка возобновляемых источников энергии. <https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=160468&ysclid=maotoqla7d710120840>
8. Сравнительный анализ затрат на АБ для гибридных электростанций. <https://spares.ru/article/sravnitelnyi-analiz-zatrat-na-ab-dlya-gibridnykh-elektrostantsii/?ysclid=maotsa2wb5633201793>
9. ГАЭС. Что это такое, принцип работы и назначение. <https://www.ixbt.com/live/offtopic/gaes-chto-eto-takoe-princip-raboty-naznachenie.html>
10. Лаура Акопян. В Китае начала работу самая мощная ГАЭС на планете. <https://www.ecopravda.ru/mir/v-kitae-nachala-rabotu-samaya-moshhnaya-gaes-na-planete/>
11. World Small Hydropower Development Report 2022. Tajikistan. WSHPRD 2022. Multilateral Development Division International Center on Small Hydro Power (ICSHP) (Tajikistan. Georgy Petrov, National Academy of Sciences of Tajikistan).
12. The International Journal Hydropower and Dams, 1997 World Dams and Industry Guide.
13. Насос-турбина. <https://bigenc.ru/c/nasos-turbina-c729ef?ysclid=maqaycra8p364605140>
14. Сирожев Б. Электрификация тепловых процессов быта сельского населения. Госплан Таджикской ССР. Институт научно-технической информации и пропаганды. Душанбе. 1974 г.
15. Водонапорные башни системы Рожновского. <https://pr-mk.ru/?etext&yclid=7329943592719089663>

СТАНСИЯИ МИНИ ГЭС БАРОИ ХОНАИ ИСТИҚОМАТИИ ИНТИХОДИЯТӢ БО КУВВАИ ЭЛЕКТР АЗ МАНБАИ БАРҚАРОР-ШАВАНДАИ ЭНЕРГИЯ

Халиков Х.Х.^{1,*}, Петров Г.Н.²

¹ Корхонаи муштараки Тоҷикиву Амрикоии «Анзоб»

² Университети давлатии Орёл ба номи И. С. Тургенева, Руссия, ш. Орёл

*Муаллифи масъул. E-mail: hona-tj@mail.ru

Шарҳи мухтасар. Варианти истифодаи нерӯгоҳҳои хурди обкашӣ (MiniPSES) ҳамчун танзимкунанда-аккумулятори энергия барои НБО-и истеъмолкунандагони алоҳидаи энергияи деҳот баррасӣ карда мешавад. Усули оптимизатсияи параметрҳои онҳо пешниҳод гардида, имкони амалии сохтан ва истифодабарии онҳо нишон дода шудааст.

Калидвожаҳо: манораи оби Рожновский, манбаҳои барқароршавандаи энергия (НЭС), нерӯгоҳҳои обкашӣ (ПЭС), хоҷагиҳои инфиродӣ, меъёри оптимизатсия, ҳаҷми фавтида, насос-турбинаи баръакс, аккумулятор-регулятор, нерӯгоҳҳои офтобӣ ва шамолий, аккумуляторҳои кимӣвӣ, иқтисодии энергетикӣ.

MINI HYDROPOWER STATION FOR AN INDIVIDUAL RESIDENTIAL HOUSE SUPPLIED WITH ELECTRICITY FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES

Khalikov K.K.^{1,*}, Petrov G.N.

¹Tajik-American joint venture «Anzob»

²Oryol State University named after I. S. Turgenev, Russia, Oryol

*Corresponding author. E-mail: hona-tj@mail.ru

Abstract. The option of using mini pumped storage plants (MiniPSES) as a regulator-accumulator of energy for RES of individual rural energy consumers is considered. A method for optimizing their parameters is proposed and the practical possibility of their construction and use is shown.

Key words: Rozhnovsky water tower, renewable energy sources (RES), pumped storage power plants (PSPP), individual farms, optimization criterion, dead volume, reversible pump-turbine, energy accumulator-regulator, solar and wind power plants, chemical accumulators, energy capacity.

Сведения об авторах: Халиков Холназар Халикович – кандидат технических наук, директор новых проектов Таджикско-Американского совместного предприятия «Анзоб». Тел.: (+992) 93 500 7997, E-mail: hona-tj@mail.ru; Петров Георгий Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования и энергосбережения Орловского государственного университета им. И. С. Тургенева. E-mail: geomar@dk.ru

Маълумот оиди муаллифони: Халиков Холназар Халикович – номзади илмҳои техники, директори лоиҳаҳои нави корхонаи муштараки Тоҷикиву Амрикоии «Анзоб». Тел.: (+992) 93 500 7997, E-mail: hona-tj@mail.ru; Петров Георгий Николаевич – доктори илмҳои техники, профессори кафедраи таҷҳизоти электрии ва сарфаи энергияи Университети давлатии Орёл ба номи И. С. Тургенева. E-mail: geomar@dk.ru

Information about the authors: Khalikov Kholnazar Khalikovich – candidate of technical sciences, director of new projects of the Tajik-American joint venture «Anzob». Phone: (+992) 93 500 7997, E-mail: hona-tj@mail.ru; Petrov Georgy Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electrical Equipment and Energy Saving of the Oryol State University named after I. S. Turgenev. E-mail: geomar@dk.ru

УДК 504

АНАЭРОБНЫЙ БИОГАЗОВЫЙ РЕАКТОР- БИОТУАЛЕТ

Абдусамиев Ф.Т.^{1,*}, Бахриев С.Х.¹,
Муссе Смаила Рауфу¹, Рахмонов Ш. С.¹

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

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

Аннотация. в статье рассматривается инновационный подход к обогреву биогазовыми установками непрерывного действия (БГУ), [1,2] размещённых в эластичных поливинилхлоридных (ПВХ) ёмкостях, с использованием инфракрасных (ИК) нагревательных кабелей. Анализируются перспективы данной технологии, её энергетическая эффективность в качестве постоянного источника тепла, долговечность при круглогодичной эксплуатации и возможность интеграции с системами солнечной генерации. Показано, что ИК-кабели обладают значительным потенциалом для повышения автономности, надёжности и экономической целесообразности работы малых и средних биогазовых установок.

Ключевые слова: биогазовая установка, метантенк, ПВХ ёмкость, инфракрасный нагревательный кабель, резистивный обогрев, солнечная энергия, мезофильное сбраживание, энергоэффективность, долговечность, автономность.

Введение

Проблема утилизации человеческих отходов актуальна как для густонаселённых регионов, так и для мест с отсут-

ствием централизованной канализации. Анаэробные биотуалеты позволяют решить эту проблему, превращая фекалии в биогаз (метан) и органическое удобрение

(биогумус). Данная технология особенно востребована в школах, казармах, интернатах и сельской местности [1].

Принцип работы анаэробных биотуалетов. Анаэробные биотуалеты работают по принципу метанового брожения в герметичных биореакторах. Микроорганизмы в отсутствие кислорода разлагают органические отходы, выделяя биогаз (60–70% CH_4 , 30–40% CO_2 , следы H_2S и NH_3). Остаток перерабатывается в биогумус [1, 2].

Качество биогаза. Качество биогаза зависит от: состава субстрата (оптимальное соотношение C: N ~ 25:1); температуры (мезофильный режим: 30–40°C, термофильный: 50–60°C); времени (15–30 дней).

После очистки от H_2S и CO_2 биогаз можно использовать для: приготовления пищи; отопления; производства электроэнергии (в когенерационных установках) [2].

Ниже приведены примеры применения утилизации человеческих отходов.

Школы и интернаты: в Индии (программа Sulabh International) установлены биотуалеты, обеспечивающие школы биогазом для кухонь [3]; В Китае (проект Sino-Italian Biogas) внедрены биогазовые системы в сельских школах [4, 5].

Казармы и военные базы: в Швеции и Финляндии используются мобильные биотуалеты для полевых условий [6]; в США (армия) тестируются автономные системы переработки отходов с получением энергии [7].

Бытовое применение: в Германии и Нидерландах популярны компактные биотуалеты для дач и экодомов [8, 9]; в Африке (Кения, Уганда) распространены биогазовые установки Flexi Biogas [2, 10].

Последние достижения науки: микробные топливные элементы (МТЭ) – совмещение анаэробного разложения с генерацией электричества [11, 12]; Гибридные системы (солнечные биореакторы) для ускорения метаногенеза; нанофльтрация

для очистки биогаза до качества природного газа.

Конструкции биотуалетов:

1. Накопительные с септиком (простые, но требуют частого обслуживания).

2. Сухие компостирующие (с добавлением торфа/опилок).

3. Вакуумные (используют меньше воды, популярны в ЕС). [6, 9].

4. Торфяные

5. Непрерывного действия (более эффективные, например, Upflow Anaerobic Sludge Blanket – UASB). Биотуалеты непрерывного действия, такие как UASB-реакторы (Upflow Anaerobic Sludge Blanket – анаэробный реактор с восходящим потоком и слоем ила), представляют собой высокоэффективные системы переработки органических отходов без необходимости частого обслуживания. Они широко применяются в сельском хозяйстве, на очистных сооружениях, в промышленности и даже в некоторых автономных санитарных системах [3, 4, 13].

Особенности работы. Принцип действия UASB-реактора основан на анаэробном разложении органических веществ [13]:

1. Подача сточных вод – неочищенные стоки поступают в нижнюю часть реактора.

2. Восходящий поток – жидкость движется вверх через слой активного ила, где бактерии разлагают органику.

3. Образование биогаза – в процессе метаболизма микроорганизмы выделяют газ, который собирается в верхней части.

4. Сепарация – газ отделяется от жидкости, а очищенная вода выводится из системы.

5. Стабилизация ила – часть ила оседает и остается в реакторе, поддерживая процесс.

Преимущества анаэробных биотуалетов заключается в следующем:

- Высокая эффективность (до 85–90% удаления органики).

- Минимальное энергопотребление (не требует аэрации).

- Возможность получения биогаза (метана) как побочного продукта.

- Компактность по сравнению с аэробными системами.

Анаэробные биотуалеты имеют следующие недостатки:

- Чувствительность к токсичным веществам (тяжёлые металлы, хлор).

- Требуется стабильного pH и температуры (оптимально 30–35°C).

- Длительный запуск (необходимо время для формирования гранулированного ила).

Качество биогазуса. После анаэробной переработки биогазус содержит: органическое вещество (40–60%), азот (1,5–2,5%), фосфор (1–2%), калий (0,5–1,5%); Микроэлементы (Zn, Cu, Mn).

Однако после анаэробной переработки требуется дополнительная пастеризация биогазуса для уничтожения патогенов (по стандартам WHO) [4].

Эффективность технологии для применения в быту: снижение нагрузки на

канализацию; экономия на удобрениях и энергии; уменьшение выбросов парниковых газов.

Для эффективной работы системы биогенератор – биотуалет необходимо поддерживать стабильную температуру 35 – 45°C. С целью обеспечения устойчивой и непрерывной работы системы, предложено применить автономную энергосберегающую технологию (рисунок 1) на базе комплекса солнечных панелей 1, контроллер управления 2, системы аккумуляторов 3 и инвертора 4. Рабочая среда биогенератор – биотуалет 5 состоит из реле температуры 6 и инфракрасного кабеля – нагревателя 7.

Предложенная технология позволит получать интенсивно биогаз, как в дневное время, так и в ночное время, а также независимо от сезона, температуры окружающей среды.

На перспективу предлагаемая технология даёт возможность исключения очистных сооружений в городах и посёлках городского типа.

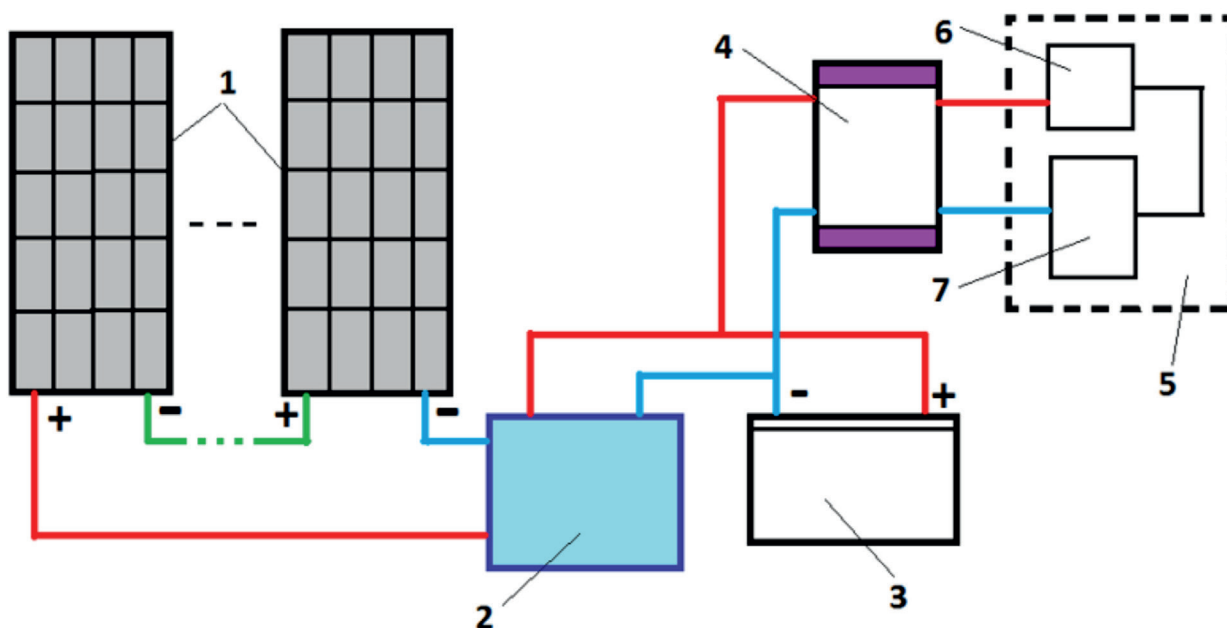


Рисунок 1. Схема работы биогенератора - биотуалета на базе солнечных батарей (1 – солнечные панели, 2 – контроллер, 3 – аккумуляторы, 4 – инвертор, 5 – биогазовая установка – биотуалет, 6 – реле температуры, 7 – инфракрасный кабель - нагреватель).

Закключение. Анаэробные биотуалеты – биореакторы перспективное решение для устойчивого управления отходами. Технология активно развивается, особенно в странах Азии и Африки. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию процессов и снижение стоимости установок. UASB-реакторы – это перспективная технология для биотуалетов непрерывного действия, особенно там, где требуется эффективная переработка органики с минимальными затратами. Они подходят для крупных систем, но могут адаптироваться и для локального использования при правильном проектировании.

Возможное применение UASB-реакторов: промышленные и коммунальные очистные сооружения (переработка сточных вод пищевых, химических, бумажных производств); сельское хозяйство (утилизация навоза, птичьего помета); автономные биотуалеты (в модифицированном виде для дач, кемпингов, удалённых объектов); биогазовая энергетика (получение метана для отопления или генерации электроэнергии).

Литература

1. R. Kothari, A.K. Pandey, S. Kumar, V.V. Tyagi, S.K. Tyagi. - Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Т. 39. – С. 174-195.
2. L. Appels, J. Baeyens, J. Degreve, R. Dewil - Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge // Progress in Energy and Combustion Science. – 2011. – Т. 34. – №. 6. – С. 755-781.
3. Sulabh International Social Service Organisation. Biogas-based sanitation systems: Case studies from India. – 2020.
4. World Health Organization. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. – Geneva: WHO, 2018. – Vol. 4.
5. Sino-Italian Biogas Project. Biogas technology in rural China: Implementation report. – Beijing: Ministry of Agriculture, 2017.
6. Ministry of Environment, Sweden. Sustainable sanitation solutions for military use. – Stockholm: 2020.
7. U.S. Army Corps of Engineers. Evaluation of portable bioreactor toilets for field applications. – Washington, DC: USACE, 2021.
8. R. Kigozi, A. Aboyade, E. Muzenda.- Design and implementation of a low-cost biogas toilet system in Uganda // Energy Procedia. – 2014. – Т. 61. – С. 2046-2049.
9. European Biogas Association. Market overview: Biogas toilets in the EU. – Brussels: EBA, 2022.
10. Flexi Biogas Systems. Small-scale biogas solutions for Africa. – Nairobi: Flexi Biogas, 2019.
11. B.E. Logan et al. - Microbial fuel cells: Methodology and technology // Environmental Science & Technology. – 2006. – Т. 40. – №. 17. – С. 5181-5192.
12. K. Rabaey, W. Verstraete - Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation // Trends in Biotechnology. – 2005. – Т. 23. – №. 6. – С. 291-298.
13. G. Lettinga, A.F.M. Van Velsen, S.W. Hobma, W. De Zeeuw, A. Klapwijk- Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment // Biotechnology and Bioengineering. – 1980. – Т. 22. – №. 4. – С. 699-734.

РЕАКТОРИ БИОГАЗИ АНАЭРОБЪ - БИОТУАЛЕТ

Абдусамиев Ф.Т.^{1,*}, Бахриев С.Х.¹,
Муссе Смаила Рауфу¹, Рахмонов Ш. С.¹

¹Институт масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экология Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон
*Муаллифи масъул. E-mail: bahriev@mail.ru

Шарҳи мухтасар. Дар мақола равиши инноватсионии гармидиҳии нерӯгоҳҳои пайвастаи биогазӣ (BGP) [1,2] дар зарфҳои чандири хлориди поливинилил (PVC) бо истифода аз кабелҳои гармидиҳии инфрасурх (IR) баррасӣ мешавад. Дурнамои ин технология, самаранокии энергетикӣ он ҳамчун манбаи доимии гармӣ, устуворӣ дар тӯли тамоми сол ва имкони ҳамгирӣ бо системаҳои тавлиди офтоб таҳлил карда мешавад. Исбот ҷодааст, ки ноқилҳои IR барои баланд бардоштани мустақилият, эҷимоднокӣ ва имконнопазирии иқтисодии нерӯгоҳҳои хурду миёнаи биогаз дорои потенциали назаррас доранд.

Калидвожаҳо: нерӯгоҳи биогаз, метантанк, зарфи ПВХ, кабелҳои гармидиҳии инфрасурх, гармии муқовиматкунанда, энергияи офтобӣ, ферментатсияи мезофилия, самаранокии энергия, устуворӣ, автономӣ

ANAEROBIC BIOGAS REACTOR - BIOTOILET

**Abdusamiev F. T.^{1,*}, Bahriev S.H.¹,
Musse Smaila Raufi¹, Rakhmonov Sh.S.¹**

¹*Institute of water problems, hydropower and ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan*

^{*}*Corresponding author. E-mail: bahriev@mail.ru*

Abstract. *the article discusses an innovative approach to heating continuous biogas plants (BGU), [1,2] located in elastic polyvinyl chloride (PVC) tanks, using infrared (IR) heating cables. The prospects of this technology, its energy efficiency as a constant heat source, durability during year-round operation and the possibility of integration with solar generation systems are analyzed. It is shown that IR cables have significant potential for increasing the autonomy, reliability and economic feasibility of small and medium-sized biogas plants.*

Key words: *biogas plant, methane tank, PVC tank, infrared heating cable, resistive heating, solar energy, mesophilic fermentation, energy efficiency, durability, autonomy.*

Маълумот дар бораи муаллифҳо: Абдусамиев Фазлидин Тоҷидинович - номзоди илмҳои техникаӣ, академики Академияи муҳандисии ҶТ, эксперти байналмилали оиди захираҳои энергияи барқароршаванда, муаллифи патентҳо оиди реакторҳо барои истеҳсоли биогаз. Тел.: +79102030015, E-mail: fabdusamiev@inbox.ru, Баҳриев Сӯхбатҷон Хусейнович – номзоди илмҳои техникаӣ, профессор, академики АМ ҶТ, ходими хизматнишондодаи илм ва техникаи АТР (ФР), ходими пешбари илми Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ. Тел.: (+992) 55 555 4648, E-mail: bahriev@mail.ru; МУССЕ Смаила Рауфу- аспиранти кафедраи геоэкология ва истифодаи табиат, ФГБОУМВО ГУЗ, ФР. Суроға: ш.Москва, Тангкучай Успенск хонаи №7, Тел.: +79295233940, E-mail: Sr.mousse@gmail.com; Раҳмонов Шарифхуҷа Сайвалиевич – докторанти Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ. Адрес: ноҳияи Рудаки Ҷамоати Ҷортеппа деҳаи Кампир-Калъа хонаи 342, тел. (+992) 004044604, E-mail: rahmonov0294@mail.ru

Сведения об авторах: Абдусамиев Фазлитдин Таджидинович- кандидат технических наук, академик ИА РТ, международный эксперт по возобновляемым источникам энергии, зав. международным отделом Орловского государственного аграрного университета им. Н.В. Парахина. Российская Федерация, Орёл, fabdusamiev@inbox.ru, Баҳриев Сухбатджон Хусейнович - к. т. н., профессор, академик ИА РТ, член-корр. Международной ИА, заслуженный деятель науки и техники РАЕ (РФ), ведущий научный сотрудник, Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана bahriev@mail.ru, МУССЕ Смаила Рауфу- аспирант кафедры геоэкологии и природопользования Федерального Государственного Бюджетного Образовательного Учреждения, Министерства Высшего Образования, Государственный Университет Землеустройства, Российской Федерации (ФГБОУМВО ГУЗ, РФ). тел.: +79295233940, E-mail: Sr.mousse@gmail.com, Раҳмонов Шарифхуҷа Сайвалиевич – докторант Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ. Адрес: Район Рудаки, община Ҷортеппа, село Кампир-Кала, дом 342, тел. (+992) 004044604, E-mail: rahmonov0294@mail.ru

Information about the author: Abdusamiev Fazliddin Tajidinovich - Candidate of Technical Sciences, Academic of the EA of the R of T, international expert on renewable energy sources, author of patents for the invention of biogas reactor. Tel.: +79102030015, E-mail: abdusamiev@inbox.ru; Bahriev Suhbatjon Huseynovich- academic of the EA of the R of T, Honored Worker of Science and Technology of the RANH (RF), Candidate of Technical Sciences, Professor, Leading researcher at the Institute of water problems, hydropower and ecology of the National academy of sciences of Tajikistan, Tel.: (+992) 55 555 4648, E-mail:bahriev@mail.ru; MUSSE Smaila Raufu-citizen of the Republic of Benin, postgraduate student of the Department of Geocology and Environmental Management Federal State Budgetary Educational Institution Ministry of Higher Education State University of Land Management, Russian Federation. Address: Moscow, Uspensky Lane No.7, Tel.: +79295233940, E-mail: Sr.mousse@gmail.com, Rakhmonov Sharifkhujja Saivalievich – PhD student of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Address: Rudaki district, Chorteppa community, Kampir-Kala village, house 342, Phone: (+992) 004044604, E-mail: rahmonov0294@mail.ru.

МОНИТОРИНГИ ПУНКТҲО ВА НИШОНАҲОИ ГЕОДЕЗӢ БА ВОСИТАИ ТАХЕОМЕТРИ ЭЛЕКТРОНӢ

Оев О.Т.^{1,*}, Ядгоров Ё.Х.¹, Каримов О.А.¹, Облокулов Э.Р.¹

¹Институтуи геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

*Муаллифи масъул. E-mail: ooeyev58@mail.ru

Шарҳи мухтасар. Усулҳои гузаронидани назорати геодезӣ аз саҳеҳнокии бунёди шабакаҳо вобаста мебошад. Дар мақолаи мазкур тартиби гузаронидани мониторинги пунктҳо ва нишонаҳои геодезии дар маҳал ҷойгир буда маълумот дода шудааст. Корҳои саҳроии геодезӣ ба воситаи тахеометри электрони TS60 i (05") гузаронида шудааст. Коркарди маводҳои саҳроӣ ба воситаи барномаи махсус гардонидашудаи Leica Captivate бо мувофиқаи барномаҳои соҳавӣ иҷро карда шудааст. Дар мақолаи мазкур натиҷаи муқоисаи маълумотҳои ба даст омада бо муқоисаи коркарди анъанавӣ нишон дода шуда хатогиҳои натиҷаи он низ оварда шудааст. Барои гузаронидани ченкунӣҳо дар маҳал нақшаи иҷрои корҳои саҳроӣ оварда шудааст.

Калидвожаҳо: мониторинги пунктҳои геодезӣ, маркаҳои геодезӣ, тахеометри электронӣ, саҳеҳнокии ченкунӣ, аксқунакҳои геодезӣ, режими ченкунӣ, фосилаи ченкунӣ, пунктҳои ибтидоии геодезӣ, шабакаи планио баландӣ, ченкунии хаттию кунҷӣ, занҷири секунҷаҳо, триангулятсия, трилатератсия, полигонометрия, барномаи коркарди маводҳои саҳроӣ, нақшаи ҷойгиришавӣ.

Мукаддима

Барои иҷрои корҳои саҳроии геодезӣ дар маҳал асбобҳои гуногун истифода бурда мешавад. Дар шароити ҳозиразамон асбобҳои баландакики геодезиро

дар маҳал истифода мебаранд. Ба сифати асбоби истифодашуда дар корҳои саҳроӣ тахеометри электрони TS60 i (05") (расми 1) [1] мебошад.



Расми 1. Намуди тахеометри электрони TS60 i (05").

Асбоби мазкур дар корҳои монитринги нишонаҳои геодезӣ бори аввал истифода бурда шудааст ва он дорои ха-

рактеристикаи техникий зерин мебошад (ҷадвали 1).

Ҷадвали 1. Харакиристикаи техникий тахеометри электрони TS60 i (05»).

№ т/р	Нишондиҳандаҳо	Бузургӣ
1	Саҳеҳнокии ченкуни кунҷҳо	0,5»
2	Саҳеҳнокии ченкунии масофа: а) масофа то аксунакҳо (GPR1, GPH1P) б) режими бе аксунак	аз 0,9 м то 3500 м аз 0,9 м то >1000 м
3	Саҳеҳнокии ченкунӣ/вақти ченкунӣ бо аксунак	0,6 мм + 1 ppm / 2,4 сония
4	Саҳеҳнокии ченкунӣ/вақти ченкунӣ бе аксунак	2,0 мм + 2 ppm / 2 сония
5	Барномаи коркарди маводҳои саҳроӣ	Leica Captivate бо барномаҳои соҳавӣ
6	Вақти ченкунӣ	то 9 соат
7	Хотираи дохили асбоб	2 Гб

Барои гузаронидани мониторинги геодезии пунктҳо [2, 3] ва нишонаҳои назоратии дар минтақа сарбанди неруғох [4] ҷойгир буда шабакаи таҷағҳои планӣ дар системаи координатаи маҳаллӣ [5] истифода бурда шуд (расми 2-3).

Пунктҳои таҷағҳои планию баландӣ (P1, P2, P3, P4, P5, PS1 ва PS2), ки бо истифодаи GNSS таҷҳизотҳо ва тахеометри электронӣ [1] муайян карда шуда, пунктҳои ибтидоии асосӣ барои гузаронидани мониторинги геодезии нишонаҳои назоратии дар ҳудуди минтақа ҷойгир буда истифода бурда шуданд. Шабакаи планию [6] баландӣ [7] занҷири секунҷаҳои бо ҳам алоқаманд буда кунҷҳо ва масофаҳои тарафҳои секунҷаҳои он ба воситаи тахеометри электрони баланддақиқи LEICA TS60 i (0.5») бо барномаи шабакаи хаттию кунҷии геодезӣ чен карда шуданд [8].

Шабакаи хаттию-кунҷӣ дар маҳал бо шакли триангулятсия, трилатератсия ва полигонометрия [9] бунёд карда шуда ченкуниҳои саҳроӣ дар давоми рӯзи муайян ва шароити мусоид дар асоси талаботи [8] иҷро карда шудааст.

Иҷрои корҳои саҳроӣ ба воситаи тахеометри электронӣ дар маҳал пай дар пай гузаронида шуда он бо тарзҳои зерин амалӣ гардонида шуд:

а) аз пунктҳои P2 ченкунии пунктҳои P1, P3, P4, P5, PS1, PS2;

б) аз пунктҳои P5 ченкунии пунктҳои P2, P3, P4, P6, PS1, PS2;

с) аз пунктҳои P4 ченкунии пунктҳои P1, P2, P3, P5, P6, PS1, PS2;

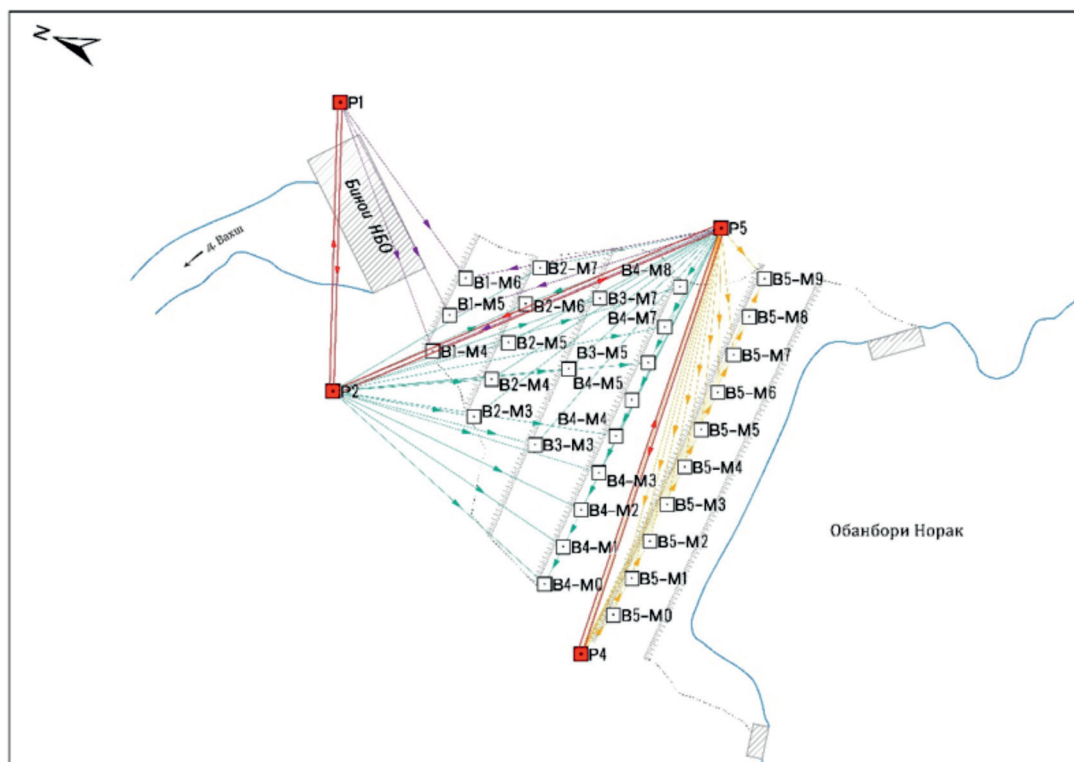
д) Аз пунктҳои P3 ченкунии пунктҳои P1, P2, P4, P5, P6, PS1, PS2.

Барои назорати ҳолати мавқеи ҷойгиршавии нишонаҳои назоратии геодезӣ, ки дар қисмати поёнобаи соҳили чапи дарёи Вахш (расми 4) ҷойгир шудаанд бо истифодаи тахеометри электронӣ ченкуниҳои саҳроӣ гузаронида шуд. Назорат аз ду пунктҳои ибтидоии P5 ва P13 иҷро гардид. Назорат ва ченкуниҳо мувофиқи барномаи иҷрои корҳои саҳроӣ дар маҳал [10-11] амалӣ карда шуда натиҷаи он бо истифодаи барномаи махсусгардонида шудаи геодезӣ [9] коркард карда шуд. Дар натиҷаи коркарди маводҳои саҳроӣ ва нишондиҳандаҳои ба даст омада ҳатогии планӣ ва баландии нишонаҳои назоратӣ ҳисоб карда шуданд, ки он дар ҷадвал ҷой дода шудааст.

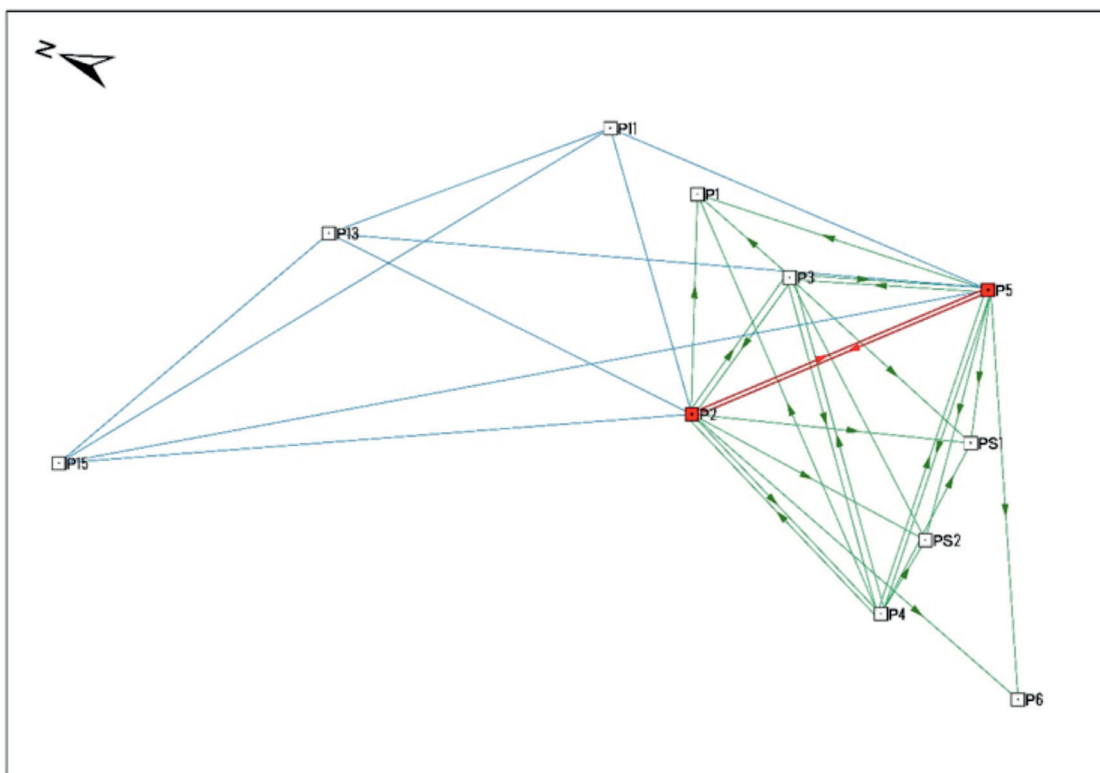
Нақшаи ҷойгиршавии нишонаҳои назоратӣ ва тартиби иҷроиши корҳои саҳроӣ дар маҳал аз он шабоҳат медиҳад, ки онҳо барои гузаронидани мониторинги геодезӣ [7] ҷавобгӯӣ буда натиҷаи

ичроиши он ҳолати аслии иншоотро дарч менамояд. Мониторинги геодезии нишонаҳои назоратӣ дар сатҳи болоии мин-

тақа ҷойгир карда шуда мувофиқи нақшаи зерин амалӣ гардид.



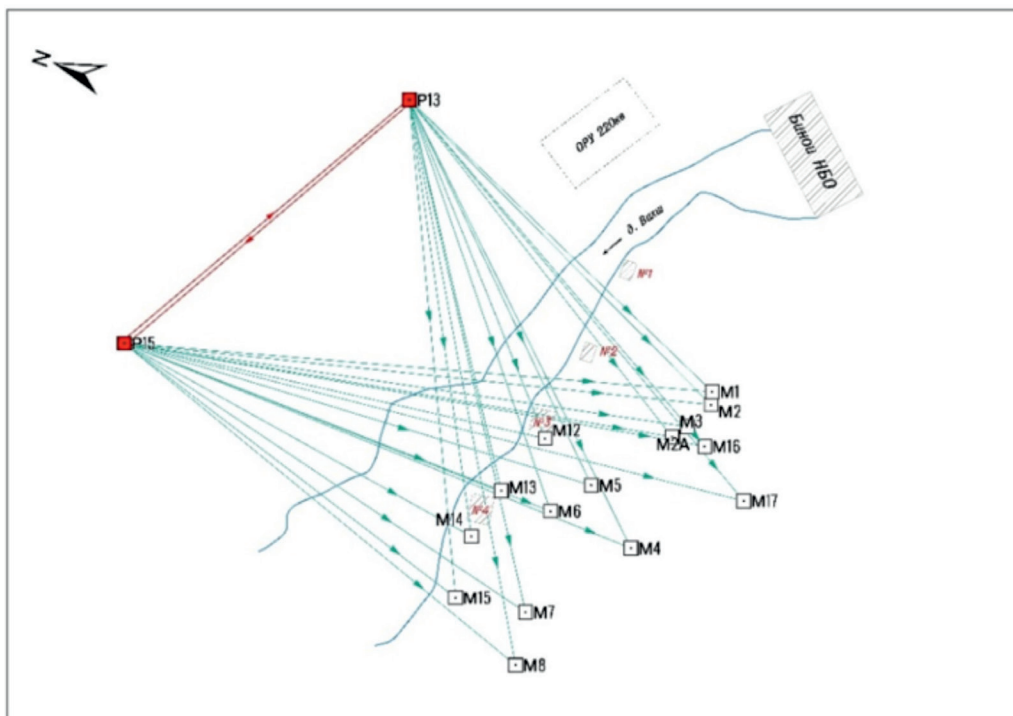
Расми 2. Назорати ҳолати шабакаи плании дар маҳал мавҷуда.



Расми 3. Назорати ҳолати нишонаҳои геодезӣ.

Назорати нишонаҳои геодезии дар қисмати поёнобаи соҳили чапи дарёи Вахш ҷойгир буда мувофиқи нақшаи зе-

рин амалӣ карда шуд ва натиҷаи коркард [6] дар ҷадвали 2 нишон дода шудааст.



Расми 4. Ҷангунии назоратии нишонаҳои поёноби соҳили чап.

Дар асоси гузаронидани корҳои сахроӣ ва коркардии камералии мониторинги нишонаҳои назоратии дар ҳудуди

иншоот ҷойгир буда хатогии планӣ ва баландии мавқеъи ҷойгиршавии онҳо ҳисоб карда шуд.

Ҷадвали 2. Коркарди маводҳои мониторинги нишонаҳои назоратӣ дар маҳал.

№№ т/р	Номгуи марқаҳо	Хатогиҳои ҳисобшуда, м			Хатогии миёнаи квадратӣ (ХМК), м
		М _x	М _y	М _n	
1	M1	-0,028	-0,018	0,002	0,033
2	M2	-0,027	-0,018	0,002	0,032
3	M2A	-0,026	-0,018	0,002	0,032
4	M3	-0,025	-0,018	0,002	0,031
5	M4	-0,019	-0,021	0,003	0,021
6	M5	-0,020	-0,017	0,004	0,026
7	M6	-0,018	-0,016	0,004	0,024
8	M7	-0,013	-0,016	0,004	0,023
9	M8	-0,011	-0,021	0,004	0,024
10	M12	-0,020	-0,014	0,002	0,024
11	M13	-0,017	-0,014	0,006	0,022
12	M14	-0,014	-0,015	0,006	0,020
13	M15	-0,012	-0,016	0,006	0,020
14	M16	0,009	0,007	0,006	0,011
15	M17	-0,025	-0,023	0,000	0,034

Натиҷаи коркард ва муқоисаи он бо маълумотҳои мавҷудаи истеҳсолӣ аз он шабоҳат медиҳад, ки истифодаи асбобҳои геодезии ҳозиразамон ва коркарди онҳо бо барномаҳои махсус гардонида шуда бо мувофиқаи барномаҳои соҳавӣ сахтҳои баланд дошта ба талаботи истеҳсолот ва лоиҳаҳои сохтмонӣ ҷавобгӯй мебошанд. Натиҷаи корҳои иҷрогардида бо истифодаи асбобҳои ҳозиразамони геодезӣ, тартиби истифодаи барномаҳои махсусгардонидашуда, ороиш ва пешниҳоди маводҳои картографӣ барои сохтмони неругоҳҳои дурнамо [12] бунёдшаванда истифодаи амалии худро пайдо мекунад.

Хулоса

1. Ҳангоми гузаронидани корҳои сахрӣ бо истифодаи тахеометри электронӣ ба талаботи дастур ва низомномаҳо доир ба мониторинги иншоот пурра ҷавобгӯй мебошад.

2. Барои сахт муайян кардани мавқеи планӣ ва баландии нишонаҳои геодезӣ дар маҳал ченкуниҳо аз якҷанд пунктҳо шабака мувофиқи талаб аст.

3. Натиҷаи коркарди камералии маводҳои сахрии геодезӣ дар барномаи махсус иҷро карда шуда он бо маълумотҳои корҳои соҳавӣ муқоиса карда шудааст, ки натиҷаи он ба талаботи истеҳсолот мувофиқ аст.

4. Сахтҳои иҷроиши корҳои сахрӣ ва маълумотҳои камералии ба даст омада аз он гувоҳӣ медиҳад, ки дар шароити баландкӯҳи Ҷумҳурии барои гузаронидани мониторинги геодезии иншоотҳо аз тахеометрҳои электронӣ истифода намудан қобили қабул мебошад.

5. Таҳлил ва хулосаҳои дар мақола овардашуда барои иҷрои корҳои муҳандисӣ-геодезӣ дар маҳал, гузаронидани корҳои мониторинги иншоотҳо ва иҷрои корҳои сахрии камералӣ дар соҳаҳои гуногун, баланд бардоштани сахтҳои натиҷаи онҳо ба сифати асоси назариявӣ амалӣ хизмат карда метавонад.

Адабиётҳо

1. Инструкция используемых приборов - GPS приемника, тахеометра и цифрового нивелира. М.: 2004, ООО "А ГЕО" – 148 с.
2. Антонович К.М. Мониторинг объектов с применением GPS технологий. Известия высших учебных заведений. Ж.: Геодезия и аэрофотосъемка. М.: 2004.- № 1. С 53-67.
3. Блинов В.П. Геодезический мониторинг сооружений. М.: Недра. 2000 – 275 с.
4. Абдурауфов Х.Ш., Ядгоров Ё.Х. Оценка сейсмонапряженного состояния грунтовой плотины (на примере Нижне-Кафирниганского водохранилища). Научный журнал «водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, посвящается третьей Международной конференции высокого уровня по Международному десятилетию действий «Вода для устойчивого развития, 2018-2028 годы» (10-13 июня 2024 г., Душанбе). Душанбе 2024. – Том 4. – № 2.-С. 85-94.
5. Устинов А.В. Технология геодезического мониторинга на основе использования глобальных навигационных систем. М.: Ж. Наука о Земле -2005.- №1.- С. 133-136.
6. Голубев В.М. Теория математической обработки геодезических измерений. М.: 2022, «Недра» - 348 с.
7. Руководство по натурным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами. М.: 1990, «Энергия» - 201 с.
8. Правила по технике безопасности на топографо-геодезических работах /ПТБ 88/. М.: 1991, «Недра» - 136с.
9. Справочник геодезиста (триангуляция). Том 1. М.: «Недра» - С. 390-394
10. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М.: 2004, «Недра» - 231 с.
11. Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. М.: 2006, «Колос»- 599 с.
12. Иноятова К.Л. Перспективы развития гидроэлектростанций в странах Центральной Азии / К.Л. Иноятова, А.А. Гулахмадзода, Н. Ходжаева // Научный журнал «водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, посвящается Международной конференции высокого уровня по сохранению ледников в рамках Международного года сохранения ледников (2025) (29-31 мая 2025 г., Душанбе) Душанбе 2025. – Том 5. – № 1.-С. 71-80.

МОНИТОРИНГ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПУНКТОВ И ЗНАКОВ ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ

Оев О.Т.^{1,*}, Ядгоров Ё.Х.¹, Каримов О.А.¹, Облокулов Э.Р.¹

¹Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана

*Муаллифи масъул. E-mail: ooyev58@mail.ru

Аннотация. Методы проведения геодезического мониторинга зависят от точности построения геодезической сети. В данной статье представлена информация о порядке мониторинга за геодезическими пунктами и знаками, расположенными на территории Нурекской ГЭС с применением электронного тахеометра. Геодезические полевые работы проводились с помощью электронного тахеометра TS60 i (05"). Обработку полевых материалов проводили с помощью специализированной программы Leica Captivate в соответствии с прикладными программами. В данной статье показаны результаты сравнения полученных данных в сравнение с традиционной обработки, а также представлены вычисленные ошибки результатов полевых измерения. Для проведения инженерно-геодезического мониторинга приведены чертежи наблюдения.

Ключевые слова: мониторинг геодезических пунктов, геодезические знаки, электронный тахеометр, точность измерения, геодезические отражатели, режим измерения, промежуток наблюдения, исходные геодезические пункты, планово-высотная сеть, линейно угловые измерения, цепь треугольников, триангуляция, трилатерация, полигонометрия, программа обработки полевых материалов, план размещения объекта.

MONITORING OF GEODETIC POINTS AND MARKERS USING AN ELECTRONIC TACHEOMETER

Oev O.T.^{1,*}, Yadgorov Y. Kh.¹, Karimov O.A.¹, Oblokulov E.R.¹

¹Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan

*Corresponding author. E-mail: ooyev58@mail.ru

Abstract. Methods for conducting geodetic monitoring depend crucially on the precision of constructing a geodetic network. This article details the information on the procedure for monitoring of geodetic points and markers located on the territory of the Nurek Hydroelectric Power Station using an electronic tacheometer. Geodetic field work was conducted with an electronic tacheometer TS60 i (05"). Field materials were processed using the specialized Leica Captivate program in accordance with the application programs. This results are presented comparing the obtained data with traditional processing, and also the calculated errors in the results of field measurements engineering and geodetic monitoring, observations documents with illustrations and schemes are provided.

Key words: monitoring of geodetic points, geodetic markers, electronic tacheometer, measurement accuracy, geodetic reflectors, measurement mode, observation interval, initial geodetic points, plan-altitude network, linear angular measurements, chain of triangles, triangulation, trilateration, polygonometry, program for processing field materials, plan object placement.

Маълумот дар бораи муаллифон: Оев Оймахмад Туевич - Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Ходими калони илмии лабораторияи зилзилатобоварии иншоотҳои гидротехникӣ. Суроға: 734063. Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, к. Айни, 267. Тел.: (+992) 902-08-19-58. E-mail: ooyev58@mail.ru Ядгоров Ёдгор Хуршедович - Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Мудир лабораторияи зилзилатобоварии иншоотҳои гидротехникӣ, номзади илмҳои техникӣ. Суроға: 734063. Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, к. Айни, 267. Тел.: (+992) 918-72-62-80. E-mail: yodgor1990@inbox.ru. Каримов Осим Азизович – Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Ходими калони илмии лабораторияи зилзилатобоварии иншоотҳои гидротехникӣ. Суроға: 734063. Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, к.

Айнӣ, 267. Тел.: (+992) 108-66-95. E-mail: ekom0rbide@mail.ru. Облокулов Эркин Раҳмонович- Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Ходими илмӣ лабораторияи зилзилатобоварии иншоотҳои гидротехникӣ. Суроға: 734063. Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, к. Айнӣ, 267. Тел.: (+992) 93-422-32-00. E-mail: oblokuloverkinO@gmail.com

Сведения об авторах: Оев Оймахмад Туевич - Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана. Старший научный сотрудник лаборатории сейсмостойкости гидротехнических сооружений. Адрес: 734063. Республика Таджикистан, г. Душанбе, улица Айна, 267. Тел.: (+992) 902-08-19-58. E-mail: ooyev58@mail.ru . Ядгоров Ёдгор Хуршедович - Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана. Заведующий лабораторией сейсмостойкости гидротехнических сооружений, кандидат технических наук. Адрес: 734063. Республика Таджикистан, г. Душанбе, улица Айна, 267. Тел.: (+992) 918-72-62-80. E-mail: yodgor1990@inbox.ru. Каримов Осим Азизович – Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана. Старший научный сотрудник лаборатории сейсмостойкости гидротехнических сооружений. Адрес: 734063. Республика Таджикистан, г. Душанбе, улица Айна, 267. Тел.: (+992) 108-66-95. E-mail: ekom0rbide@mail.ru. Облокулов Эркин Раҳмонович- Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана. Научный сотрудник лаборатории сейсмостойкости гидротехнических сооружений. Адрес: 734063. Республика Таджикистан, г. Душанбе, улица Айна, 267. Тел.: (+992) 93-422-32-00. E-mail: oblokuloverkinO@gmail.com

Information about the authors: Oev Oimakhmad Tuevich - Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of National Academy of Sciences of Tajikistan. Senior researcher of the Hydraulic Structures Seismic Resistance Department. Address: 734063. Republic of Tajikistan, City of Dushanbe, Ayni Street, 267. Phone: (+992) 902-08-19-58. E-mail: ooyev58@mail.ru. Yadgorov Yodgor Khurshedovich - Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of National Academy of Sciences of Tajikistan. The head of the Hydraulic Structures Seismic Resistance Department, candidate of technical science. Address: 734063. Republic of Tajikistan, City of Dushanbe, Ayni Street, 267. Phone: (+992) 918-72-62-80. E-mail: yodgor1990@inbox.ru. Karimov Osim Azizovich - Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of National Academy of Sciences of Tajikistan. Senior researcher of the Hydraulic Structures Seismic Resistance Department. Address: 734063. Republic of Tajikistan, City of Dushanbe, Ayni Street, 267. Phone: (+992) 108-66-95. E-mail: ekom0rbide@mail.ru. Obloqulov Erkin Rakhmonovich- Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of National Academy of Sciences of Tajikistan. Scientific researcher of the Hydraulic Structures Seismic Resistance Department. Address: 734063. Republic of Tajikistan, City of Dushanbe, Ayni Street, 267. Phone: (+992) 93-422-32-00. E-mail: oblokuloverkinO@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЕ Th И U В ПРОБАХ ПОЧВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СОГДИЙСКОЙ ОБЛАСТИ

Абдуллозода С.Ф.^{1,*}, Рахматзода М.Н.², Исмоилзода К.А.²

¹Физико-технический институт имени С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана

²Худжандский государственный университет им. акад. Б.Гафурова

*Автор корреспонденции. E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com

Аннотация. Впервые методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой проведена количественная оценка содержания тория и урана в почвах юго-восточной части Согдийской области. Для оценки степени загрязнения была рассчитана фоновая концентрации тория и урана. По данным коэффициента обогащения EF установлено, что накопление тория и урана минимально, за исключением Горно-Матчинского района. Высокие значения коэффициента обогащения EF в Горно-Матчинском районе свидетельствуют об обогащении образцов почв торием и ураном. Отмечено, что повышенные концентрации урана и тория обнаруживаются в Горно-Матчинском районе, выявленные высокие содержания носят локальный характер и не оказывают заметного влияния на состояние окружающей среды. По индексу геоаккумуляции Igeo выявлено, что большинство исследуемых почв в отношении тория и урана – умеренно загрязнённые. В отношении этих элементов почв данной территории они характеризуются как чистые. Результаты расчётов показателей загрязнения (EF, Igeo, CF) свидетельствуют, что наблюдается слабое загрязнение территории ураном и торием.

Ключевые слова: уран, торий, загрязнение почв, элементный состав почв, индекс геоаккумуляции, уровни загрязнения, Кларки концентрации, Кларк рассеяния.

Введение

В последнее десятилетие во всём мире внимание было обращено на разработку и постоянное внедрение аналитических методов, пригодных для количественного определения содержания химических элементов, включая торий и уран. По данным различных авторов, верхний горизонтальный слой почвенного покрова является важным компонентом окружающей среды (ОС) и депонентом уровня загрязнения [1, 2-6].

Исследования в этом направлении в Северном Таджикистане проводились с конца 90-х годов прошлого столетия и по настоящее время. Однако сведений о содержании тория и урана в поверхностных горизонтах почв в юго-восточной части Согдийской области явно недостаточно, или они отсутствуют [7-9, 10-12].

Поскольку до настоящего времени элементный анализ почв на территории юго-восточной части Согдийской области на содержание урана и тория подробно не проводился из-за отсутствия

технической возможности, дороговизной аналитических исследований проб почвы, нехватки опыта и специалистов, то наименьшая концентрация урана и тория по всей юго-восточной части Согдийской области принята в качестве его фоновой концентрации.

На сегодняшний день исследование загрязнения почв на содержание урана и тория в юго-восточной части Согдийской области актуально и необходимо для оценки уровня загрязнения окружающей среды. Учитывая, что U и Th относятся к числу химических элементов, изучение которых в различных природных средах наиболее важно с экологической точки зрения, то целью настоящей работы было исследовать содержание и накопление этих элементов в верхних слоях почв юго-восточной части Согдийской области.

Эколого-геохимической оценке верхних горизонтов почвенного покрова исследуемых территорий в последнее время уделяется серьезное внимание во многих

странах мира в связи с безопасностью жизнедеятельности населения и эффективным использованием земель территорий для выращивания овощей, зерновых и т.п. [1, 2, 10-12].

Материалы и методы

Полевые работы проведены в период 2020-2022 гг., методом конверта из верхних горизонтов с глубины 0–5 см были отобраны почвенные образцы в точках, соответствующих разным районам юго-восточной части Согдийской области (рис. 1). После отбора пробы высушивали до абсолютно-сухого состояния,

измельчали и анализировали на содержание тяжёлых металлов, включая U и Th, методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Аналитические работы выполнены в институте минералогии УрО РАН (г. Миасс Челябинской области) [3]. В последнее время, благодаря внедрению в лабораторную практику метода ИСП-МС, появились работы, посвящённые содержанию, распределению по профилю и поведению химических элементов в разных типах почв, отобранных из разных регионов России [2, 3].



Рисунок 1. Схема расположения точек сбора проб почв юго-восточной части Согдийской области (1. Айни; 2. Пенджикент; 3. Горно-Матчинский район; 4. Шахристан; 5. Истаравшан; 6. Деваштич).

Результаты и обсуждение

Математическую обработку полученных результатов проводили в соответствии с требованиями методик количественного элементного анализа. Статистическая обработка выполнена при помощи программы Microsoft Excel 2019.

Результаты ИСП - МС - анализа почв исследованных территорий показали, что содержание Th в пробах почв, взятых в юго - восточной части Согдийской области колеблется от 6,7 до 11,61 ppm, при среднем 8,32 ppm (табл. 2). В почвах Горно- Матчинского района среднее содержание тория и урана значительно выше, чем в почвах остальных районов. В остальных районах содержание тория и урана сравнимо с Кларком. На табл. 2 чётко видно, что величины коэффициента вариации характеризуют однородную как степень рассеяния в исследуемых почвах для тория и урана.

Исследователями подчёркивается, что критерием оценки загрязнения почвы принимается предельно допустимое количество (ПДК) загрязняющего вещества, а в случае его отсутствия, как, например, для тория и урана, – сравнение уровней загрязнения с фоновыми или с почвенными Кларками. Чаще всего о фоновой концентрации элементов судят по элементному составу проб почв фоновых исследуемых территорий, удалённых от локальных источников загрязнения на 50-100 км [7].

Фоновые концентрации тяжёлых металлов – уровень концентрации химического элемента, сравнение с которым позволяет обнаружить превышение его в природных объектах под влиянием техногенных факторов; они являются важным показателем, с помощью которого можно оценить характер естественных геохимических процессов и степень их антропогенного изменения [7].

Среднее содержание U в континентальной земной коре составляет 1.7 мг/кг

[3, 10]. Для большей части почв, взятых в юго-восточной части Согдийской области, Кларковые значения урана выше среднего значения урана, за исключением Горно- Матчинского района, где зафиксированы превышения Кларка в 2,24 раза. Кларк концентрации по результатам расчёта в верхнем слое изучаемой почвы для урана варьирует от 0,98 до 2,2 – для тория от 0,52 до 0,89.

Значения Кларков концентрации и рассеяния Th и U, приведённые в таблице 3 и 4, характеризуют концентрации или рассеяния тория и урана в исследуемой почве относительно земной коры. Если исследуемый элемент накапливается в почве, то значение его Кларка концентрации будет выше единицы $K_k > 1$ [5, 6].

Так, значение КК содержания Th во всех почвах юго-восточной части Согдийской области ниже единицы. Как видно из приведённых данных, повышенные более чем в 2 раза средние содержания урана установлены только в пробах почв, взятых в Горно-Матчинском районе. В пробах почв, взятых в большинстве точек в Пенджикентском, Шахристанском, Истаравшанском и Деваштичском районах имеют около Кларковые содержания урана. В пробах почв, отобранных в Айнинском районе, среднее содержание урана не достигает значения КК.

Содержание Th в верхних слоях почвы не накапливается, а рассеивается. По мнению исследователей, в таких случаях обычно пользуются понятием «Кларк рассеяния». Значения Кларка концентрации и Кларка рассеяния позволяют выделять ряды или группы накапливающихся и рассеивающихся химических элементов. По результатам анализа проб почв установлено, что содержание Th к ряду накапливающихся элементов в исследуемых почвах не относится, т.е. не входит в него [5, 6].

Превышение концентрации тория - по отношению к региональному фону

наблюдалось только в двух районах в Горно-Матчинском и Деваштичском, в остальных районах среднее значение тория - практически одинаковое на региональном фоне. В почвах всех районов коэффициент загрязнения в пределах еди-

ницы: торием – от 1,00 до 1,71, ураном – в интервале от 1,00 до 2,24. Это также свидетельствует об отсутствии накопления тория и урана в верхней части исследуемой почвы.

Таблица 2. Статистические показатели отдельных индексов в поверхностных слоях почв юго-восточной части Согдийской области.

Показатели	Th, ppm	U, ppm
Минимум	6,7	1,67
Максимум	11,61	3,75
Среднее	8,32	2,27
Медиана	7,50	2,05
Стандартная ошибка	0,04	0,02
Коэффициент вариации	8,86	14,18
Асимметрия	1,54	1,66
Экссесс	1,90	2,86

Средние значения коэффициента обогащения EF в почвах юго-восточной части Согдийской области позволяют установить, что накопление тория и урана минимально, за исключением Горно-Матчинского района. Высокие значения коэффициента обогащения EF в Горно-Матчинском районе свидетель-

ствуют об обогащении образцов почв торием и ураном (см. табл. 3 и 4). Анализ значений Igeo показал, что большинство исследуемых почв в отношении тория и урана – умеренно загрязнённые. В отношении этих элементов почвы данной территории характеризуются как чистые.

Таблица 3. Среднее содержание Th в пробах почв юго-восточной части Согдийской области, величины коэффициента обогащения (EF), индекс геоаккумуляции (Igeo), индекс загрязнения (CF) и его Кларки концентрации относительно средних содержаний Th в верхней части континентальной земной коры, Кларк рассеяния.

	Th, ppm	EF	Igeo	CF	КК	КР
Горно-Матчинский район	11,6	1,03	0,19	1,71	0,89	1,11
Айни	6,77	0,78	-0,59	1,00	0,52	1,92
Пенджикент	7,34	0,73	-0,47	1,08	0,56	1,77
Шахристан	7,49	0,53	-0,44	1,11	0,58	1,73
Истаравшан	7,52	0,57	-0,43	1,11	0,58	1,72
Деваштич	9,21	0,64	-0,14	1,36	0,71	1,41

Коэффициент корреляции (r) между содержанием тория и урана в почве составил 0,92, $p \leq 0,001$, что, вероятно, связано с дополнительным техногенным посту-

плением одновременно тория и урана в почвах юго-восточной части Согдийской области (рис. 2а).

Таблица 4. Среднее содержание U в пробах почв юго-восточной части Согдийской области, величины коэффициента обогащения (EF), индекс геоаккумуляции (I_{geo}), индекс загрязнения (CF) и его Кларки концентрации относительно средних содержаний U в верхней части континентальной земной коры, Кларк рассеяния.

	U, ppm	EF	I _{geo}	CF	КК	КР
Горно-Матчинский район	3,75	2,55	0,58	2,24	2,2	0,45
Айни	1,67	1,48	-0,59	1,00	0,98	1,01
Пенджикент	1,77	1,34	-0,50	1,06	1,04	0,96
Шахристан	1,72	0,94	-0,54	1,03	1,01	0,98
Истаравшан	2,39	1,38	-0,07	1,43	1,4	0,71
Деваштич	2,32	1,24	-0,11	1,39	1,36	0,73

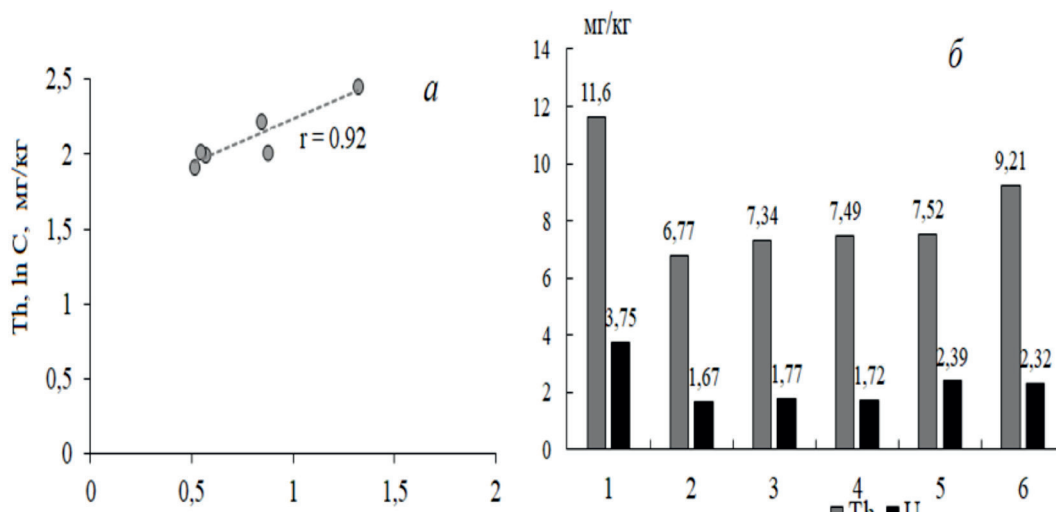


Рисунок 2. Соотношение концентраций Th и U в пробах почв юго-восточной части Согдийской области в виде корреляционных связей (а) и в виде гистограммы (б).

Выводы

Результаты исследований почв юго-восточной части Согдийской области позволяют считать, что обстановка в жилой зоне региона является благоприятной. По концентрациям содержания тория и урана в почвах соответствуют уровню Кларка.

Литература

1. Сычёва, Д. Г. Загрязнение почвенного покрова соединениями металлов, мышьяка и сурьмы в районе воздействия предприятия топливно-энергетического комплекса / Д. Г. Сычёва, Н. Е. Кошелева, И. В. Тимофеев // Теоретическая и прикладная экология. -2022. -№ 2. – С.48–55.
2. Ладонин Д.В. Формы соединений тяжёлых металлов в техногенно-загрязнённых почвах: дисс. д-ра наук. 03.02.13 / Ладонин Дмитрий Вадимович. – Москва. -2016. – 383 с.
3. Слукровский, З. И. Урановые аномалии в современных донных отложениях озёр северной части Мурманской области, Арктика / З. И. Слукровский, А. В. Гузевас, В. А. Дауальтера, В. Н. Удачин, Д. Б. Денисова // Геохимия, -2020. -Т.65.- № 12. – С.1231–1236.
4. Околелова, А.А. Содержание и нормирование тяжёлых металлов в почвах Волгограда /А.А. Околелова, В.Ф. Желтобрюхов, Г.С. Егорова, Н.А. Рахимова, В.П. Кожевникова // Волгоград: ФГБОУ ВПО, Волгоградский ГАУ. - 2013. – 144 с.
5. Исаков, В.Ю. Микробиогенные элементы в системе «порода-почва-растение» на лугово-оазисных почвах западной Ферганы / В.Ю. Исаков, М.Ю. Исаков, У.В. Мукумжонов // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. - 2022, 9(99). – С.45–50.
6. Ковальчик, Н.В. Распространённость и виды миграции химических элементов / Н.В. Ковальчик, Л.И. Смыкович, А. А. Карпиченко // Практикум по геохимии: учеб.-метод. пособие. Минск, БГУ. -2017. – 112 с.

7. Грицко, П. П. Распределение тория, урана и ^{137}Cs в почвах городов Иркутск и Ангарск (Прибайкалье): дисс. к-та наук. 25.00.36 / Грицко Полина Павловна. – Иркутск. -2018. – 160 с.
8. Мирсаидов, И.У. Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов и сырьевых материалов / И.У. Мирсаидов // Душанбе. - Дониш. - 2014. - 106 с.
9. Муртазаев, Х. Дигмайское радиоактивное хвостохранилище и ее влияние на окружающую среду / Х. Муртазаев, А. Муртазаев // Худжанд. Изд-во «Нури маърифат». - 2016. - 116 с.
10. Абдуллозода С.Ф., Влияние метеорологических параметров на физико- химические свойства природных растительных соединений / Абдуллозода С.Ф., Умаров Н.Н., Рахматзода М.Н. // Водные ресурсы, энергетика и экология. 2024. Т. 4. № 3. С. 184-195.
11. Абдуллозода С.Ф. Исследование тяжелых металлов в составе травы солодка гладкая (GLYCYRRHIZA GLABRA) / Валиев Н.Р., Абдуллозода С.Ф. // Водные ресурсы, энергетика и экология. 2024. Т. 4. № 1. С. 166-173.
12. Азизов Р.О. Эффективность коагулянтов на основе железа и алюминия в процессе очистки шахтной воды от тяжелых и радиоактивных металлов / Азизов Р.О., Ходжиев С.К. // Водные ресурсы, энергетика и экология. 2024. Т. 4. № 3. С. 175-184.

ТАҲҚИҚОТИ Тh И U ДАР ТАРКИБИ НАМУНАҲОИ ҲОКИ ҚИСМИ ЧАНУБИ ШАРҚИИ ВИЛОЯТИ СУҒД.

Абдуллозода С.Ф.^{1,*}, Рахматзода М.Н.², Исмоилзода К.А.²

¹Институту физикаю техники ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

²Донишгоҳи давлатии Хуҷанд ба номи академик Б. Гафуров

*Муаллифи масъул. E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com

Шарҳи мухтасар. Бори аввал бо истифода аз усули масс-спектрометрия бо плазмаи ба таври индуктивӣ пайвастишуда баҳодиҳии миқдории концентратсияи торий ва уран дар ҳокҳои қисми чануби шарқии вилояти Суғд гузаронида шуд. Барои баҳододи дараҷаи олудашиавӣ концентратсияи фони торий ва уран ҳисоб карда шуд. Мувофиқи омили ганигардонии EF, муайян карда шудааст, ки чамъишавии торий ва уран, ба истиснои ноҳияи Масчоҳи кӯҳӣ хеле кам аст. Қиматҳои баланди омили ганигардонии EF дар ноҳияи Масчоҳи кӯҳӣ аз зиёд будани намунаҳои ҳок бо торий ва уран шаҳодат медиҳанд. Концентратсияи зиёди уран ва торий дар ноҳияи Масчоҳи кӯҳӣ ба мушоҳида расид, концентратсияи баланди ошкоршуда характери маҳаллӣ буда, ба вазъи муҳити зист таъсири назаррас намерасонанд. Мувофиқи индекси геоаккумулятсияи Igeo, маълум шуд, ки аксарияти ҳокҳои тадқиқшуда нисбат ба торий ва уран ба дараҷаи миёна олуда шудаанд. Мувофиқи индекси геоаккумулятсияи Igeo, ошкор карда шуд, ки аксарияти ҳокҳои тадқиқшуда нисбат ба торий ва уран ба дараҷаи паст олуда шудаанд. Дар робита ба ин унсурҳо, ҳокҳои ин минтақа тоза тавсиф карда мешаванд. Натиҷаҳои ҳисоби нишондиҳандаҳои олудашиавӣ (EF, Igeo, CF) шаҳодат медиҳад, ки бо уран ва торий дар ҳудуди тадқиқшуда олудашиавӣ суғд ба мушоҳида расид.

Калидвожаҳо: уран, тория, олудашиавӣ ҳок, таркиби унсурҳои ҳок, индекс геоаккумулясионӣ, сатҳи олудашиавӣ, концентратсияи Кларкӣ, паҳншавии Кларкӣ.

STUDY OF THE CONTENTS OF Th AND U IN SOIL SAMPLES IN THE SOUTHEASTERN PART OF SUGHD REGION

Abdullozoda S. F.^{1,*}, Rakhmatzoda M.N.², Ismoilzoda K.A.²

¹Physical and Technical Institute named after S.U. Umarov National Academy of Sciences of Tajikistan

²Khujand State University named after academician B. Gafurov

*Corresponding author. E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com

Abstract. For the first time, using mass spectrometry with inductively coupled plasma, a quantitative assessment of the content of thorium and uranium in the soils of the south-eastern part of Sughd region was carried out. To assess the degree of contamination, background concentrations of thorium and uranium were calculated. High values of the enrichment factor EF in Kuhistoni Mastchoh region to indicate the enrichment of soil samples with thorium and uranium. It is noted that increased concentrations of uranium and thorium are found in Kuhistoni

Mastchoh region; the detected high concentrations are local in nature and do not have a noticeable effect on the state of the environment. According to the Igeo geoaccumulation index, it was revealed that most of the studied soils are moderately contaminated in relation to thorium and uranium. With regard to these elements, the soils of this area are characterized as clean. The results of calculations of pollution indicators (EF, Igeo, CF) testify that there is slight contamination of the territory with uranium and thorium.

Key words: uranium, thorium, soil pollution, elemental composition of soils, geoaccumulation index, pollution levels, concentration Clarke, scattering Clarke.

Маълумот оид ба муаллифони: Абдуллозода Сабур Фузайл- доктори фанҳои физикаю математика, профессор, Институти Физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови АМИТ, E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com; Раҳматзода Муҳаммади Нуридин- номзоди фанҳои физикаю математика, дотсент, ДДХ ба номи академик Б.Гафуров. E-mail: muhamadi.rahmatov@yandex.com; Исмоилзода Комрон Алишер- Ун-вончу, ДДХ ба номи академик Б.Гафуров, E-mail: boss.komron@list.ru.

Сведения об авторах: Абдуллозода Сабур Фузайл- доктор физико-математических наук, профессор, Физика технический Институт им.С.У.Умарова НАНТ, E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com; Раҳматзода Муҳаммади Нуридин- кандидат физико-математических наук, доцент, ХГУ имени академика Б.Гафурова, E-mail: muhamadi.rahmatov@yandex.com; Исмоилзода Комрон Алишер- Соискатель, ХГУ имени академика Б.Гафурова, E-mail: boss.komron@list.ru.

Information about the authors. Abdullozoda Sabur Fuzayl- Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, PhTI named after S.U. Umarov NAST, E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com; Rakhmatzoda Mukhammad Nuridin- Candidate physical mathematical sciences, Associate Professor, KhSU named after academician B. Gafurov, E-mail: muhamadi.rahmatov@yandex.com; Ismoilzoda Komron Alisher- Researcher, KhSU named after Academician B. Gafurov, E-mail: boss.komron@list.ru

УДК 502/504

ТЕХНОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В ЗЕРАВШАНСКОЙ ДОЛИНЕ

Махмадалиев А.Г.^{1*}, Хакдод М.М.²

¹Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников» Национальной академии наук Таджикистана

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

*Автор корреспонденции, E-mail: m.e.abdusalom@mail.ru.

Аннотация. В Зеравшанском горнорудном регионе в последние годы сложилась неблагоприятная, экологическая ситуация в связи с увеличением объемов добычи угля. Назрела необходимость проведения исследований по оценке воздействия предприятий угольной промышленности на окружающую среду. Добыча угля, становится опасным не только по воздействию на окружающую среду, нанося непоправимый ущерб атмосфере, природным водам и почве, но также она пагубно влияет и на здоровье населения. Исследования показывают, что угольные отвалы оказывают негативное влияние на состав донных отложений за счет стока шахтных вод, содержащих токсичные компоненты. Размыв угля при организации складов по берегам рек негативно влияет на состав поверхностных вод бассейна. Самовозгорание угля (пожары), наблюдающееся на некоторых участках месторождений, приводит к выбросу большого количества вредных газов в атмосферу. Все вышесказанное в комплексе может стать причиной увеличения вероятности возникновения зон чрезвычайной экологической ситуации или экологического бедствия в исследуемом регионе.

Ключевые слова: экологическая безопасность, окружающая среда, месторождение угля, добыча, увеличение объемов, шахтные воды, летучие газы.

Введение

После объявления ускоренной индустриализации четвертой стратегической целью в республике Таджикистан произошел резкий скачок в различных отраслях

промышленности. Были созданы благоприятные условия для развития и в горнодобывающей отрасли, приняты новые законы и нормативно правовые документы, регулирующие деятельность компаний,

занимающихся недропользованием. Из года в год увеличивается добыча угля, одного из важного сырья применяемого во многих отраслях современной промышленности, энергетики и других отраслях народного хозяйства. В 2025 году предусмотрено увеличение добычи угля до 3.2 млн. тонн, а для обеспечения, выполнения целевых индикаторов Национальной стратегии развития Республики Таджикистан на период до 2030 года, предусматривается увеличение добычи угля в 7.6 раз или 10.4 млн. тонн, соотношения 2016 года [1].

Зеравшанская долина является самым крупным, горнорудным регионом республики, где одновременно развивается несколько отраслей промышленности и добываются различные виды минерального сырья [2]. Наряду с добычей рудных полезных ископаемых, добыча угля в регионе за последнее десятилетие приобретает

высокие темпы роста. Угленосные пласты протягиваются по всей долине от города Пенджикента на западе до верховьев реки Зеравшан на востоке.

Изучение геологии региона начинается с 1870 года, когда посетившие регион исследователи отмечали здесь наличие каменного угля. Позднее большие исследования в районе Туркестанского, Зеравшанского и Гиссарского хребтов проводились А.П. Марковским. С 1939 года, фундаментальные исследования в пределах Центрального Таджикистана проводит Таджикское управление геологии. В это время продолжена детальная разведка таких каменноугольных месторождений как Магианская и Киштуд-Зауранская расположенных в этом бассейне [3]. В регионе установлено и разведано всего 17 месторождений каменного угля.

Таблица 1. Ресурсы и промышленные запасы основных месторождений Зеравшано-Гиссарского угленосного района [4].

№ п/п	Месторождения	Промышленные запасы (тыс. т)			Прогнозные ресурсы (тыс. т)		Итого (тыс. т)
		B	C ₁	C ₂	P ₁	P ₂	
1	Киштуд-Зауранское	131200	39700	181800	6784	-	359484
2	Магиан-Обилай	382	1434	3142	-	-	4958
3	Тавасанг	-	-	2174,0	8364	16913	27451
4	Рават-Вашанское	-	-	-	-	8456	8456
5	Фан-Ягнобское	361565	153669	160152	-	-	675386
6	Гузн	-	-	73143	52887	19508	145538
	Всего по региону:	493 147	195744	420411	68035	44877	1 222 214

Наиболее крупным, перспективным и хорошо изученным месторождением в регионе является Фан-Ягнобское месторождение, на котором с 1948 по 1958 годы проводились детальные, разведочные работы.

Месторождение считается стратегическим и имеет большое социально-экономическое значение для Таджикистана так как обладает большими запасами, высоким качеством угля, сравнительно луч-

шей доступностью и для ее отработки не требуются большие финансовые средства, что делает объект крайне выгодным для добычи. Исходя из этого несколько горнорудных предприятий с привлечением средств отечественных и иностранных инвесторов, добывают уголь из этого месторождения. На сегодняшний день месторождение поделена между компаниями следующим образом:

- ДП «Шахта Фан-Ягноб» - восточная площадь;
- ООО «Талко-Ресурс» - западная и центральная площади;
- ООО «Металлургический завод» - центральный фланг и участок «Роват»;
- ТА ООО «СП «Анзоб» - штольня «Угольная» на западной площади месторождения [6].

Добыча на месторождении ведется как открытым, так и подземным способами. Выделены локальные участки для добычи открытым способом и штольневой выемки, критерием для такого распределения послужило оптимальное совмещение разных способов добычи, которое позволит минимизировать капитальные и эксплуатационные затраты.

Уголь реализуется в основном для использования в качестве топлива на те-

пловых электростанциях. Добывают для собственных нужд «СП «Анзоб» и ООО «Талко-Ресурс», также приобретает уголь население и другие потребители.

Материалы и методы исследования

На месторождении «Фан-Ягноб» выделены три площади: Западная, Центральная и Восточная. Максимальное накопление угля наблюдается в Центральной площади, где мощность угольных пластов равна 67 м, на Восточной она составляет до 43 м а на Западной площади уменьшается до 35 м.

В свою очередь Центральная площадь считается самым крупным по промышленным значениям, протягивается на расстояние примерно 25 км, состоит из 40 пластов и прослоев угля и подразделяется на три участка: Раватский, Джижикрутский и Кухи-Маликский [3].

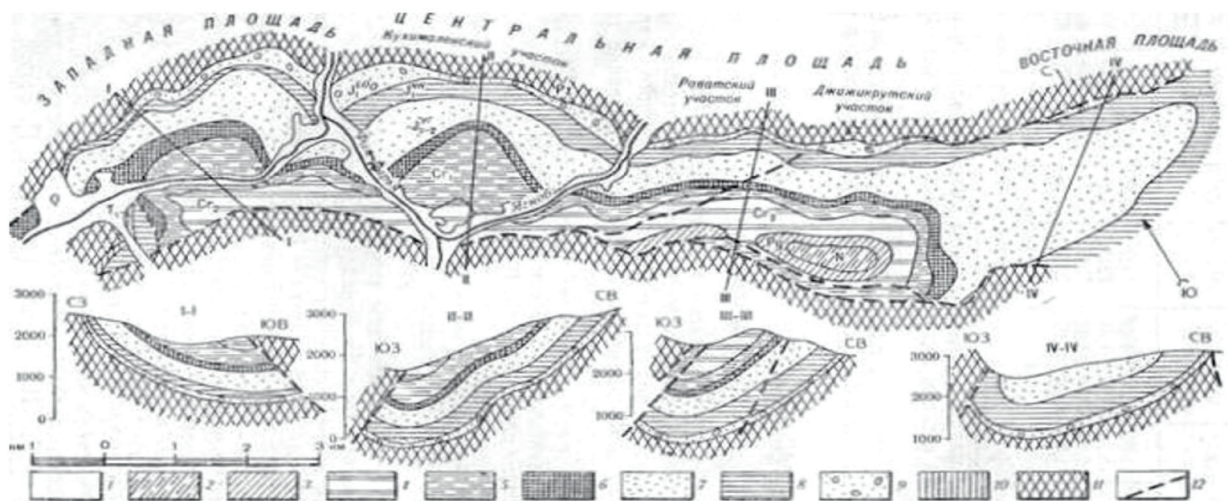


Рисунок 1. Схематическая геологическая карта Фан - Ягнобского каменноугольного месторождения (по Г.И.Алесину, Ш.К.Кабилову, И.Л.Никитиной, Н.С.Огневу, 1948- 1958 гг.):

- 1-четвертичные отложения (Q); 2-неогеновые отложения (N); 3- палеогеновые отложения (P); 4- верхнемеловые отложения (K₂); 5- нижнемеловые отложения (K₁);
 6- 9 - юрские отложения: 6- верхняя непродуктивная (J₂^{вн}), 7- угленосная свита (J₁^{уг}), 8- нижняя непродуктивная свита (J₁^{нн}), 9- базальная свита (J₁⁶⁰);
 10- нижнетриасовые отложения (T₁); 11- палеозойские отложения (Pz);
 12- разрывные нарушения.

Таблица 2. Характеристика угленосности месторождения Фан-Ягноб [3].

№ п/п	Воз раст	Средняя мощность отлож-й, м	Количество пластов		Ср. суммарная мощность пластов, м		Коэффициент угленосности, %		Протяженность пласта, км	
			всех	рабочих	всех	рабочих	всех	рабочих	всех	рабочих
1	J1 -J2	700	40	16	64	32	9	4	22	20

Угли месторождения гумусовые, каменные, жирные и газовые (марки Г и Ж). Основные показатели качества угля приведены в таблице 3.

Таблица 3. Основные показатели качества углей месторождения Фан-Ягноб [5].

№ п/п	Качественные показатели угля	Обозначение (индекс)	Предельные значения параметров
1	Общая влага на рабочую массу топлива, %	W_r^t	9
2	Зольность на сухую массу топлива, %	A^d	3-15
3	Сера на сухую массу топлива, %	S_t^d	0.3-1.4
4	Выход летучих веществ на горючую массу, %	V^{daf}	21-40
5	Высшая теплота сгорания на сухое беззольное состояние, МДж/кг	Q_s^{daf}	29
6	Низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг	Q_i^r	25

Работы по добыче угля оказывают негативное воздействие на окружающую, природную среду. При активной добыче открытым и подземным способами оказывается сильное техногенное воздействие на поверхностные воды. Складывается очень сложная экологическая ситуация в связи с выбросом больших объемов неочищенных, шахтных вод в открытые водоемы.

Шахтные воды, это загрязненные воды, которые проникли в выработанное пространство, по содержанию это сложные и разнообразные по химическому составу воды. Их состав зависит от естественных процессов, которые происходят в горных выработках и горизонтах подземных вод, где эти воды контактируют с углем и слагающими массив горных пород. При взаимодействии с углем, содержащим сульфидную и органическую серу, а также горными породами массива формируются воды, содержащие значительное количество сульфатов, ионов железа, алюминия и кальция. Сульфатные, железисто-алюминиевые и кальциевые,

шахтные воды, это сильноокислые воды с $pH=2-3$.

Согласно бассейновому плану по управлению водными ресурсами Зеравшанской бассейновой зоны на период до 2030 года, разработанной по утвержденным методическим указаниям Министерства энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан индекс загрязненности водного объекта Фондаря, куда входит район исследования отнесен к умеренно загрязненным, что вызывает сомнения. Также в этом отчете отмечено, что высокий уровень загрязненности вод обусловлено попаданием в реку Ягноб, отходов угледобывающих предприятий, которые расположены на водоохранной зоне этого притока реки Фондаря [7].

Очистка шахтных вод и предотвращение сброса неочищенных сточных вод в открытые водные объекты считается жизненно важной задачей недропользователя и является частью комплекса мероприятий, направленных на удаление загрязняющих веществ, образовавшихся в результате деятельности угледобывающе-

го предприятия, чтобы снизить негативное воздействие на окружающую среду и обеспечить экологическую безопасность.

Резкое ухудшение экологической ситуации, возникновение стихийных бедствий и иных чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в соответствии с пунктом 1 статьи 6 Закона Республики Таджикистан «О безопасности» считаются угрозами национальной безопасности. Согласно статье 22 этого же закона защита окружающей среды, рациональное использование и охрана природных ресурсов, предотвращение и ликвидация негативных экологических последствий хозяйственной и иной деятельности являются обязанностью физических и юридических лиц независимо от их организационно правовой формы [8].

Открытый способ добычи угля, очень распространенный, по сравнению с подземным способом относительно безо-

пасный и с низкой себестоимостью минерального сырья. Этот способ оказывает серьезную угрозу для экологии района, так как сопровождается буровзрывными работами непосредственно при добыче и удалении (вскрыши) горных пород, когда в атмосферу выбрасываются тонны частиц твердых веществ и угольной пыли, часть из которых после осаждения атмосферными осадками смыывается со склонов в водные объекты. На участках добычи строятся подъездные пути к карьерам, эти дороги из-за интенсивного движения автотранспорта, транспортировки угля и горной массы превращаются в источники скопления сажи и пыли.

В результате на территории горного отвода предприятий угледобычи формируются техногенные массивы, значительно изменяющие местный ландшафт (рис. 2). Начинается нарушение почвенного покрова и развитие эрозионных процессов.



Рисунок 2. Техногенный массив с измененным ландшафтом ($S = 5,96 \text{ км}^2$) на Джижикрутском участке месторождения Фан-Ягноб.

Как видно из рисунка 2 такой массив образовался на правобережном склоне ручья Джижикрут недалеко от к. Хушона и охватывает площадь около 6.0 км^2 . Происходит сокращение площадей сельскохозяйственного назначения, загрязняются почва и атмосферный воздух, происходит изменение состава и нарушается режим

природных вод. При увеличении добычи угля перемещаются с одного места на другое, огромные массы пустых горных пород, осуществляется складирование добытого угля в отведенных местах, образуются горы твердых минеральных образований.



Рисунок 3. Горы угля на левом берегу реки недалеко от к. Работ.

Складирование угля и твердых отходов добычи по берегам рек оказывает существенное влияние на состав поверхностных вод. Многие недропользователи организуют склады прямо на берегу рек, тем самым не соблюдаются границы во-

доохранных зон и берега небольших ручьев превращаются в загрязненные участки. Такой, склад организован на берегу ручья, правой составляющей реки Джижикрут недалеко от к. Хушона.



Рисунок 4. Склады угля на берегу ручья.

Угли месторождений Зеравшанского горнорудного региона способны к самовозгоранию, наблюдаются очаги пожаров и на Фан-Ягнобском месторождении. Самовозгорание углей хотя и считается природным фактором, но по степени вли-

яния, оно не уступает техногенному воздействию на геологическую среду.

На Раватском участке месторождения, зона горения угля протягивается до 10 км и охватывает западную часть участка и весь участок Кухи Малик. Максимальная

глубина выгорания угля, достигает 550 м. В результате пожаров в массиве образуются большие по размерам провалы, откуда выделяются горючие газы и пары с температурой до 70°, а из образовавшихся трещин с шумом выделяются газы, температура которых доходит до 100° и выше. После выгорания пластов, остается зола, или же естественный кокс, если пачка угля полностью не выгорела. При выгорании пластов, уничтожаются большие запасы угля и усложняются горнотехнические условия проведения добычных работ. Трещины и пустоты пластов угля месторождения Фан-Ягноб содержат метан. Замеры показали до 20% содержание метана в забое на глубине 500 м, при проведении геологоразведочных работ.

Содержание летучих газов в углях на месторождении Фан-Ягноб составляют до 38%. Из-за преобладания в углях месторождения неуглеродных атомов, происходит образование летучих веществ таких как сероводород (H_2S), диоксид серы (SO_2), цианистый водород (HCN) и аммиак (NH_3). Большое количество летучих газов в составе угля стало основанием считать каменноугольное месторождение Фан-Ягноб опасным по газу и пыли. Выбросы газов, дыма и пыли отрицательно влияют как на шахтный, так и на атмосферный воздух.

Однако из-за благоприятных горно-геологических условий расположения месторождения т.е из-за расчлененности рельефа местности, крутого падения угольных пластов и открытости северного крыла синклинальной складки, где сосредоточено месторождение происходит природная дегазация отложений.

Наряду с техногенным воздействием, на геологическую среду региона также оказывают сильное влияние и природные факторы т.е. гидрогеологические, инженерно-геологические, горнотехнические и другие особенности. С целью минимизации

отрицательного влияния всех вышеперечисленных факторов, необходимо принять соответствующие меры при интенсивной эксплуатации месторождения и особенно при увеличении объемов добычных работ.

Выводы и рекомендации

1. Для уменьшения экологической нагрузки на окружающую среду региона, необходимо решить вопросы управления добычных работ, путем сбалансирования производственного процесса и обеспечения экологической безопасности.

2. В условиях наращивания объемов добычи необходимо усилить контроль за соблюдением экологических стандартов и требований отраслевых нормативных документов.

3. Во избежание появления зоны экологического риска, необходимо осуществлять строгий мониторинг выбросов и отходов, проводить необходимые корректировки в процессе добычи угля

4. Сократить количество угледобывающих компаний, из числа убыточных и не имеющих перспектив на финансовое оздоровление в ближайшие годы.

Литература

1. Концепция развития угольной отрасли в Республике Таджикистан на период до 2040 г. Утвержденный Постановлением Правительства РТ от 30 августа 2019 года № 436. с.1.
2. Махмадалиев А.Г., Хакдод М.М. Анализ экологической ситуации и влияние недропользования на окружающую среду Зеравшанского горнорудного региона / Научный журнал Водные ресурсы, энергетика и экология Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана. – Душанбе, 2025, №5 (1), с. 139-148.
3. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Том 6. Угольные бассейны и месторождения Средней Азии. Коллектив авторов. 1968 г. с. 5-7,91
4. Азим Иброхим, Мамадвафоев М.М и др. Зеравшанский горнорудный регион Таджикистана: геология и минеральные ресурсы. – М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2012, с.23.

5. Геология угольных месторождений СССР/ Под ред. А. К. Матвеева, М.: Изд-во МГУ, 1990, с.211
6. Состояние угольного сектора Республики Таджикистан, Отчет подготовленный экологической организацией «Маленькая Земля» (<https://bankwatch.org/wp-content/uploads/2017/12/coal-tadj-rev-ru17-1.pdf>.) с.7
7. Книга 2. «Оценка экологического состояния и ключевые проблемы речного бассейна» Проект комплексного развития сельских районов/ Содействие инклюзивному росту экономики села для благосостояния населения (IRDP/TRIGGER) на 2023-2025гг. МЭВР, Душанбе 2024, с.64
8. Закон Республики Таджикистан «О безопасности» № 721 от 28.06. 2011, с.3,10.

ТАЪСИРИ ТЕХНОГЕНИИ ИСТИХРОҶИ АНГИШТ ВА ТАЪСИРИ ОН БА МУҲИТИ ЗИСТИ ВОДИИ ЗАРАФШОН

Махмадалиев А.Ғ.^{1,*}, Ҳақдод М.М.²

¹Муассисаи давлатии илмӣ “Маркази омӯзиши пирахҳо”-и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

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

*Муаллифи масъул. Email: m.e.abdusalom@mail.ru

Шарҳи мухтасар. Дар минтақаи қуҳимаъдани Зарафшон солҳои охир бинобар сабаби зиёди ғаштани ҳаҷми истихроҷи ангишт, ҳолати номусоиди экологӣ ба вуҷуд омадааст.

Зарурат ба миён омадаст, ки қорҳои тадқиқотӣ оид ба арзёбии таъсири қорхонаҳои саноати ангишт ба муҳити зист гузаронида шавад.

Истихроҷи ангишт на танҳо тавассути таъсиррасонӣ ба муҳити зист, бо расонидани зарари барқарорнашаванда ба атмосфера, обҳои табиӣ ва ҳок инчунин бо таъсири фалокатбор ба саломати аҳоли, хатарнок шуда истодааст. Тадқиқотҳо нишон медиҳанд, ки ҳоктӯдаҳои ангишт ба таркиби қабатҳои қабрӣ, аз ҳисоби шоридани обҳои шахтавии дорои компонентҳои захрнок, таъсири манфии худро мерасонанд. Шустаи ангишт ҳангоми ташики анборҳо дар соҳили рӯдҳо ба таркиби обҳои руизаминии ҳавза таъсири манфӣ мегузорад. Худдаргирии ангишт (сӯхторҳо), ки дар баъзе қитъаҳои қон мушоҳида мегардад, ба газхориҷкунии зиёди зарарнок ба атмосфера оварда мерасонад. Ҳамаи гуфтаҳои боло дар маҷмӯ метавонад сабаби зиёди ангишти эҳтимолияти пайдошавии қитъаҳои вазъи фавқуллодаи экологӣ ё фалокати экологӣ дар минтақаи омӯзишӣ гардад.

Калидвожаҳо: беҳатарии экологӣ, муҳити зист, қони ангишт, истихروح, зиёди ангишти ҳаҷм, обҳои шахтавӣ, газҳои хориҷишаванда.

INCREASED COAL PRODUCTION AND ITS IMPACT ON THE ENVIRONMENT OF THE ZERAVSHAN MINING REGION

Makhmadaliev A.G.^{1,*}, Haqdod M.M.²

¹State Scientific Institution "Glacier Study Center" of the Ҳациональнӯи академии наук Тоҷикистани

²Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the Ҳациональнӯи академии наук Тоҷикистани

*Corresponding author. Email: m.e.abdusalom@mail.ru

Abstract. Zeravshan mining region has experienced an unfavorable environmental situation in recent years due to an increase in coal production. There is a need to conduct research to assess the environmental impact of coal industry enterprises. Coal mining becomes dangerous not only in terms of its impact on the environment, causing irreparable damage to the atmosphere, natural waters and soil, but it also adversely affects the health of the population. Studies show that coal dumps have a negative impact on the composition of bottom sediments due to the runoff of mine waters containing toxic components. Coal erosion during the organization of warehouses along the river banks negatively affects the composition of the surface waters of the basin. Spontaneous combustion of coal (fires), which is observed in some areas of deposits, leads to the release of large amounts of harmful gases into the atmosphere. All of the above taken together may cause an increase in the likelihood of the emergence of zones of environmental emergency or environmental disaster in the region under study.

Key words: environmental safety, environment, coal deposit, mining, increase in volumes, mine water, volatile gases.

Маълумот оид ба муаллифони. Махмадалиев Абдусалом Ғуломович – номзади илмҳои геология-минералогия, сарҳодими илмҳои озмоишгоҳи МДИ “Маркази омузиши пирияхҳо”-и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. E-mail: m.e. abdsalom@mail.ru. Ҳақдод Махмадшариф Маҳмуд – доктори илмҳои техника, профессор, мушовири илмҳои Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. E-mail: mkhakdodov@mail.ru.

Сведения об авторах. Махмадалиев Абдусалом Ғуломович – кандидат геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории ГНУ «Центр изучения ледников» НАНТ. E-mail: m.e. abdsalom@mail.ru., Ҳақдод Махмадшариф Маҳмуд – доктор технических наук, профессор, научный консультант Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ. E-mail: mkhakdodov@mail.ru.

Information about the authors. Mahmadaliev Abdusalom Ghulomovich- candidate of geological and mineralogical sciences, Chief Scientific Officer of the state scientific institution «Centr for research of glaciers» of the National Academy of Sciences of Tajikistan. E-mail: m.e. abdsalom@mail.ru., Haqdod Mahmadsharif Mahmud – Doctor of Technical Sciences, professor, Senior Researcher of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan. E-mail: mkhakdodov@mail.ru.

УДК: 504+504.5+502.13 (575.3)

ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ УРАНОВЫХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

Саидзода В.Я.^{1,2,*}, Мирсаидзода И.У.², Фазылов А.Р.³

¹Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников» Национальной академии наук Таджикистана

²Агентство по химической, биологической, ядерной и радиационной безопасности Национальной академии наук Таджикистана

³Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана

*Адрес корреспондент. E-mail: s.vaysidin@gmail.com

Аннотация. Добыча и переработка урана были интенсивной отраслью в большинстве стран Центральной Азии бывшего Советского Союза, в том числе и Таджикистана. В данной статье изложены основные принципы, средства и методы реализации системной инженерии, использованные при разработке концепции проекта и эксплуатации по рекультивации Дегмайского хвостохранилища, расположенного в Согдийской области Республики Таджикистан.

Ключевые слова: Таджикистан, Дегмай, системная инженерия, урановые хвостохранилища, рекультивация, радиоактивные отходы, покрытие, концепции проектирования и эксплуатации.

Введение

В последние десятилетия Республика Таджикистан столкнулась с проблемой безопасного управления и рекультивации участков, пострадавших от эксплуатации предприятий по добыче и переработке урана, требующие решения проблем связанные с реструктуризацией и выводом из эксплуатации рудников и других урановых объектов.

Оценка состояния бывших урановых объектов. В Таджикистане существуют ряд месторождений урановой руды, а также не действующие предприятия по добыче и его переработки. Ранее переработка

собственных руд и импортного сырья в основном осуществлялась на бывшем Ленинабадском геохимическом комбинате (ныне ГУП «Таджредмет»), а также на других гидрометаллургических заводах, расположенных в непосредственной близости от мест добычи урановых руд (Адрасман, Табошар, Исфара и др.) [1].

За период с 1945 по 1995 гг., в Таджикистан для производства оксид урана, поставлялось урансодержащего сырья со всего бывшего СССР, общим объемом около 100 тыс. тонн, с обратной поставкой, в частности в Россию, для дальнейшего производства обогащенного урана.

Следствием такого процесса, было образование на территории Северного Таджикистана 10 урановых хвостохранилищ, с площадью захоронения более 200 га (таблица 1).

Общий объем отходов в отвалах и хвостохранилищах оценивается более чем в 170 млн тонн, большая часть из которых расположена в окрестностях гидрометаллургических заводов и мест кучного выщелачивания [2].

Цель исследований – разработка эффективных, эколого-социальных результатов по рекультивации уранового хвостохранилища, со строгим соблюдением соответствующих нормативных актов позволяющие определять требования к подходу к рекультивации, способствующие разработке концептуального проекта системы покрытия, обеспечивающий долгосрочную рекультивацию и техническое его обслуживание, с минимизацией негативного воздействия радионуклидов на окружающую среду и здоровье населения.

Метод исследований – изучение фоновых и архивных материалов, существующей литературы; обзор и анализ особенностей принципов, средств и методов реализации системной инженерии при разработке концепции проекта и экс-

плуатации по рекультивации урановых хвостохранилищ.

Ниже приведены результаты исследований состояния участка Дегмай, представляющий объект радиологической опасности, для окружающей среды.

Хвостохранилище Дегмай, крупнейшее отдельное хвостохранилище урановой фабрики в Центральной Азии [4], расположенное в Гафуровском районе на холме Дегмай, в 1,5 км от ближайшего населенного пункта (Гозиен) и в 10 км от города Худжанд эксплуатировалось в период с 1963 по 1993 год.

Занимая 90 га территории, содержит около 20 миллионов тонн отходов урановых остатков, около 500 000 тонн субэкономичных урановых руд и 5,7 миллионов тонн отходов ванадиевого сырья, с предполагаемым общим содержанием активности около 16 000 ГБк. Следует отметить, что примерно 50% хвостов получены из импортных руд.

Участок хвостохранилища Дегмай расположен на вершине холма, представляющего собой комбинацию бассейна и седловины. На одном конце объекта расположена плотина (поперек бассейна) длиной 1800 метров и максимальной высотой 35 метров (рис. 1).



Рисунок 1. Аэрофотоснимок хвостохранилища Дегмай
1 - Город Худжанд, 2 – Город Бустон, 3. Хвостохранилище.

Таблица 1. Характеристика радиоактивных хвостохранилищ Северного Таджикистана[3].

№п/н	Название хвостохранилища	Место расположение	Период эксплуатации	Площадь, га	Объем отходов, тыс. м ³	Количество хранящихся отходов млн. тонн	Слой грунтового покрытия, м ³	МЭД на поверхности, мкЗв/час	Суммарная активность, ТБк
1	Дигмайское	пос. Гозиён, 1,5 км	1963-1991гг.	90	19 400	33,87	отсутствует	5,0 – 15,0	156,06
2	Гафуровское	г. Гафуров, 0,5 км	1942-1955гг.	5	240	0,4	2,4 - 2,5	0,15 – 0,20	6,85
3	Карта 1-9	г. Бустон, 2,0 км	1945-1960гг.	18	2 600	4,0	0,5 – 0,7	0,4 – 2,75	28,82
4	Хвостохранилища I-II очереди	г. Истиклол, 2,0 км	1945-1959гг.	24,7	1 680	2,8	0,7 – 1,0	0,4 - 1,0	8,07
5	Хвостохранилище III очереди	г. Истиклол, 0,5 км	1947-1963гг.	11,1	1 802	3,0	0,7 – 1,0	0,4 – 0,6	8,58
6	Хвостохранилище IV очереди	г. Истиклол, 1,0 км	1949-1965гг.	18,7	4 131	7,0	0,7 – 1,0	0,4 – 0,6	18,87
7	Хвостохранилище цеха №3	г. Истиклол, 3,0 км	1949-1965гг.	2,9	676	1, 17	0,7 – 1,0	0,5 – 0,6	0,56
8	Отвалы фабрика бедных руд	г. Истиклол, 4,0 км	1950-1965гг.	7,9	1128	2,0	отсутствует	0,4 – 0,3	9,36
9	Адрасманское	пос. Адрасман, 1,0 км	1941-1957гг.	2,5	240	0,4	0,5 – 0,7	0,4 – 1,25	5,92
10	Рудник -3	г. Худжанд, 2,0 км	1976-1985гг.	5,9	207	0,36	0,5 – 0,7	0,3 – 0,6	0,41

Системная инженерия. Системный инжиниринг или системная инженерия - это область инженерии, целью которой является внедрение или оптимизация сложных систем посредством изучения реальности. Системная инженерия позволяет создавать системы, анализировать системы и управлять ими - будь то электрические, механические, химические, биологические или иные системы. Системная инженерия выходит за рамки физической природы того, что проектируется или управляется [5].

Основные концепции системной инженерии включают следующие понятия:

1. Система (System). Термин «сложная система» характеризует структурно и функционально сложные многокомпонентные системы с большим числом взаимосвязанных и взаимодействующих элементов различного типа и с многочисленными и разнородными связями между ними. К ней отнесена система, обладающую по крайней мере одним из следующих признаков: система в целом обладает свойствами, которыми не обладает ни один из составляющих её элементов; систему можно разделить на подсистемы и изучать каждую из них отдельно; система функционирует в условиях существенной неопределённости и воздействия среды на неё, что обуславливает случайный характер изменения её показателей; система осуществляет целенаправленный выбор своего поведения.

2. Жизненный цикл (System Life Cycle). В 1981 году Б. Бланчард и У. Фабрицки описали подход жизненного цикла, который рекомендовали в качестве фундаментальной основы практики системной инженерии [6]. Данный подход предполагает использование системными инженерами понятия жизненного цикла системы в качестве рамочной, организационной основы инженерного мышления, что при создании сложных инженерных объектов

позволяет рассматривать все системные аспекты в их полноте и взаимосвязи.

3. Заинтересованные стороны (Stakeholders). Согласно [7] в системной инженерии заинтересованная сторона понимается как лицо или организация, имеющие права, долю, требования или интересы к системе или к использованию её свойств, отвечающих их потребностям и ожиданиям.

Заинтересованные стороны преследуют различные цели, которые должны быть гармонично учтены на основе баланса их интересов, в том числе через регулирование отношений между: группами заинтересованных сторон; заинтересованными сторонами и объектом интереса. Выявление ключевых заинтересованных сторон и их интересов, вопросы анализа баланса интересов заинтересованных сторон с учётом механизмов их возникновения и необходимости гармонизации точек зрения, а также оценка относительной степени влияния разных заинтересованных сторон на принимаемые решения является в системной инженерии критически важной задачей.

Принципы системной инженерии. Переход от: редукционистского к системному подходу; монодисциплинарного к междисциплинарному подходу; структурного к процессному подходу; рабочего проектирования и конструирования к архитектурному проектному подходу; непосредственной реализации к моделицентричной реализации; одной группы описаний ко множественности групп описаний; приоритета документов к приоритету данных; единой верификации к раздельным верификации и валидации; управления жизненным циклом как «технологическим конвейером» к «заказам-поставкам»; работы «для одного заказчика» к работе со множеством заинтересованных сторон; методов жёсткого планирования к использованию гибких прогнозных методов.

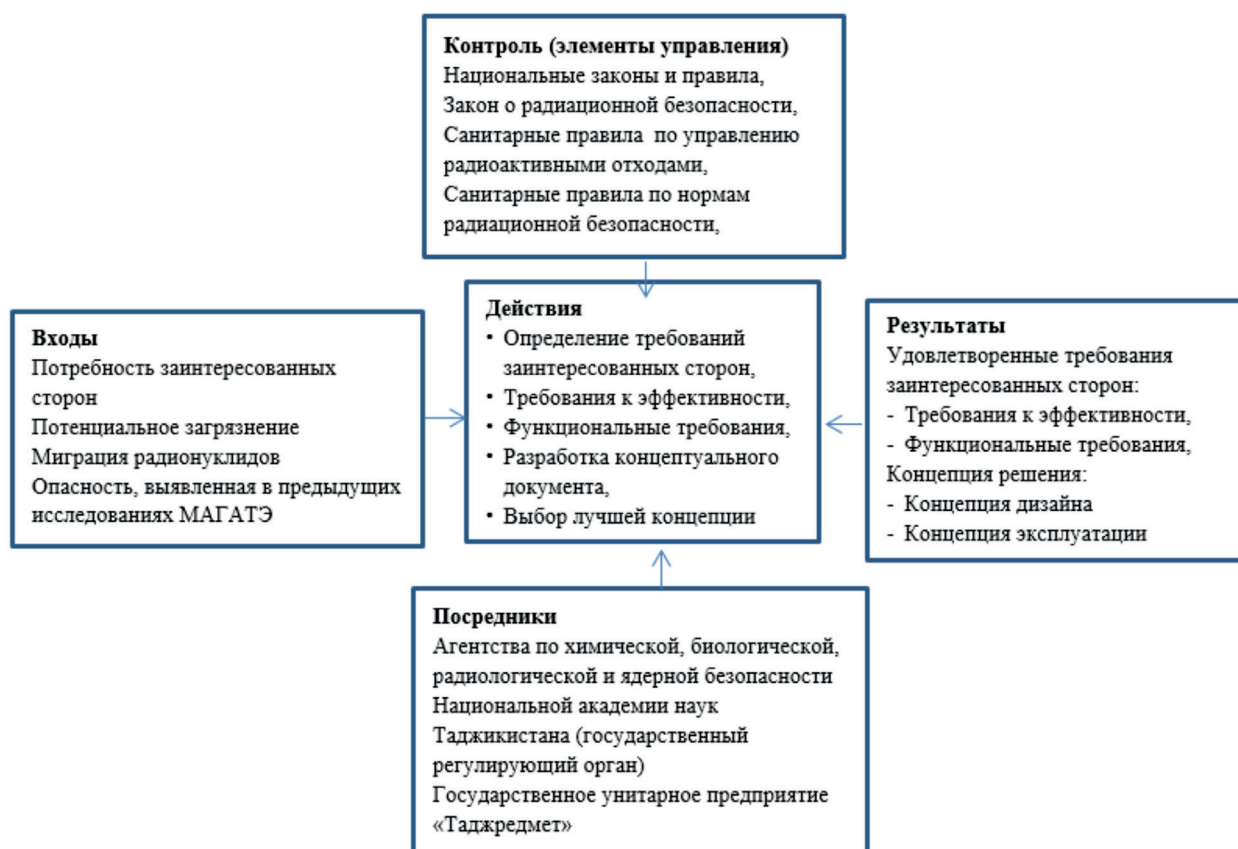
Методы системной инженерии. В обобщённой форме набор методов (процессов) системной инженерии включает, действия необходимые для получения оптимальной системы включает: обеспечение надёжного проектного репозитория, поддерживающий необходимые инструменты для совместной работы множества специалистов над мультидисциплинарной информацией в ходе создания системы и управления её жизненным циклом; точную оценку доступной информации и определение недостающей; точное определение критериев производительности и эффективности; получение и анализ всех исходных требований, отражающие запросы пользователей и цели заинтересованных сторон; проведение системного анализа для разработки проектных решений, отражающих поведение системы, соответствующие всем функциональным требованиям; распределение всех пове-

денческих элементов системы по соответствующим им элементам архитектуры; проведение анализа компромиссных решений по альтернативным проектным решениям или архитектуре для поддержки процесса принятия решений; создание исполняемых моделей для верификации и валидации работы системы [8].

Применение методов и принципов системной инженерии позволяет разрабатывать проект рекультивации урановых хвостохранилищ, в частности, а также разработать стратегию реализации и программу рекультивации, в целом.

Процесс системного подхода к рекультивации участка Дегмай приведен на рисунке 2.

Определение заинтересованных сторон. Выявление потребностей заинтересованных сторон имеет решающее значение для определения контекста оценки и того, как он должен быть разработан [9].



В данной работе для рекультивации Дегмайского хвостохранилища нами определены следующие заинтересованные стороны и их потребности: Общество (местное население) в городе Худжанде - 198 700 человек, в Бустоне – 38 400; Правительство Республики Таджикистан; Государственное унитарное предприятие «Таджредмет»; уполномоченный исполнительный государственный регулирующий орган.

В соответствии с Законом о радиационной безопасности (статья 6) - Агентство по химической, биологической, ядерной и радиационной безопасности Национальной Академии наук Таджикистана, назначенное в качестве уполномоченного исполнительного государственного регулирующего органа по обеспечению радиационной безопасности и органа по реализации единой государственной политики, координирующего работу других уполномоченных органов, устанавливает стандарты и нормативные акты, касающиеся радиационной безопасности, физической защиты, аварийного планирования и лицензирования видов деятельности, связанных с использованием ядерной энергии) [10]

Потребности заинтересованных сторон. Государственному унитарному предприятию «Таджредмет» востребовано оборудование, измерительные и контрольные приборы для оценки радиологического состояния объекта, для контроля концентрации радионуклидов в воде, почве и воздухе. Общество - нуждается в прозрачности и минимизации выбросов

радиоактивности до безопасных уровней. Правительство - первоочередной задачей является минимизация воздействия уранового хвостохранилища на окружающую среду, а также на население посредством безопасной и экономически эффективной программы рекультивации. Поскольку Дегмайское хвостохранилище расположено вблизи трансграничной реки Сырдарья, правительству необходимо сотрудничать с соседними странами и привлекать международные организации для поддержки и минимизации экологического риска для региона. Регулирующий орган - необходим контроль за выполнением программы рекультивации на законодательном уровне.

Потенциальное загрязнение. В 2006 году в четырех точках хвостохранилища Дегмай осуществлен отбор проб хвостового материала, которые в последствие были подвергнуты анализу в радиометрической лаборатории Украинского гидрометеорологического института с использованием методов низкофоновой гамма-спектрометрии и альфа-спектрометрии для измерения концентраций Po-210 и Th-230 [11]. Результаты анализа хвостового материала, отобранного в разных местах хвостохранилищ, приведены в таблице 2.

Одной из особенностей хвостохранилища Дегмай является то, что оно к сожалению, расположено очень близко к населенным пунктам, с возможным возникновением высокого риска загрязнения грунтовых вод.

Таблица 2. Результаты анализа хвостового материала хвостохранилища Дегмай.

Радиационный фон на поверхности хвостохранилища	15мкЗв/ч
Среднее содержание урана в хвостохранилище	0,003-0,006%
Содержание урана в почве на расстоянии 1-1,5км	Отсутствует
Радиационный фон на расстоянии 1-1,5км от центра хвостохранилища	0,15-0,40мкЗв/ч
Содержание урана в растениях в близи хвостохранилища	0,003%

Определение опасностей

По данным Агентства по охране окружающей среды (ЕРА), риски, связанные с отходами урановых заводов, следующие: Существует четыре основных способа (или пути воздействия), с помощью которых население может подвергаться опасностям, связанным с этими отходами: Попадание радонового газа непосредственно в воздух внутри помещений при неправильном использовании отходов в качестве строительного материала или для обратной засыпки вокруг зданий; Радоновый газ может рассеиваться из отвалов в атмосферу; Многие продукты радиоактивного распада в хвостохранилищах производят гамма-излучение; Распространение хвостохранилищ ветром, водой или в результате выщелачивания (ЕРА 2004).

Необходимо отметить, что в процессе исследований опасная зона определяется

как зона с повышенными уровнями радионуклидов или радиации по сравнению с фоновыми уровнями, представляющие дополнительную радиологическую опасность, поскольку их использование населением может привести к дозам, превышающим фоновые.

Ниже представлены выявленные радиологические опасности на хвостохранилище Дегмай: 1. Повышенные уровни радионуклидов и радиации: в поселке Дегмай; на урановых хвостохранилищах; в грунтовых водах (вода из местных скважин). 2. Повышенный уровень радионуклидов и радиации в: урановых хвостохранилищах; в грунтовых водах (вода из местных колодцев).

В таблице 3 приведены данные диапазона активности аэрозолей (Бк/м³) по результатам измерения в двух точках Дигмайского хвостохранилища и ближайшем поселке [3].

Таблица 3. Диапазон активности аэрозолей (Бк/м³) по результатам измерения в двух точках Дигмайского хвостохранилища и ближайшем поселке [3].

Радионуклиды	Поселок	Хвостохранилище	
	значение	min	max
210Pb	1,3•10 ⁻⁴	9,2•10 ⁻⁴	1,3•10 ⁻³
210Po	1,3•10 ⁻⁴	9,2•10 ⁻⁴	1,3•10 ⁻³
226Ra	4,0•10 ⁻⁵	3,3•10 ⁻⁴	4,1•10 ⁻⁴
228Th	2,6•10 ⁻⁵	4,6•10 ⁻⁵	5,8•10 ⁻⁴⁵
230Th	1,5•10 ⁻⁴	2,3•10 ⁻⁴	2,9•10 ⁻⁴
234U	2,8•10 ⁻⁵	3,6•10 ⁻⁵	5,0•10 ⁻⁵
238U	2,5•10 ⁻⁵	3,4•10 ⁻⁵	4,6•10 ⁻⁵
222Rn	50	100	400

Уровни радионуклидов в этих районах неоднородны в пространстве и сильно различаются в разных зонах с наличием отдельных «горячих точек». Определены и охарактеризованы с использованием имеющихся данных мониторинга отдельных опасных зон (Таблица 4.): мощность

дозы гамма-излучения снаружи и внутри зданий; концентрация радионуклидов в аэрозолях, почве и отходах горения; концентрация радона снаружи и внутри зданий; концентрация радионуклидов в воде и пищевых продуктах (молоко, мясо и т.д.).

Таблица 4. Интервал изменения значений МЭД для оцениваемых участков вокруг Дигмайского хвостохранилища. [3].

Зона опасности	МЭД _{min} , мк ³ в/ч	МЭД _{max} , мк ³ в/ч
Населенный пункт	0,2	0,5
Хвостохранилище	4,0	20

Подтверждено, что недостаточность рассмотрения радиологических воздействий хвостов урановых фабрик, связанные только с эффектами ионизирующего излучения [4]. Установлено присутствие также других эффектов: химическая токсичность радионуклидов, включая уран, тяжелых металлов и металлических соединений; кислотность, возникающая из-за сульфидных (рудных) минералов или кислоты, внесенных во время измельчения; мутность; соленость.

Миграция радионуклидов. Наиболее вероятным процессом, приводящим к выбросу радионуклидов из хвостохранилища, является перенос их грунтовыми водами. Низкие уровни концентрации ра-

дионуклидов в грунтовых водах, полученные из нескольких проб, взятых во время экспертных миссий МАГАТЭ, и из данных ГУП «Таджредмет», указывают на то, что грунтовые воды, используемые для питья и других бытовых нужд местным населением, пока не подвергаются значительному воздействию хвостохранилищ. Вместе с тем, она, по-прежнему считается потенциальной проблемой, связанное с загрязнением воды в водоносном горизонте медленно перемещающиеся в сторону жилых районов. Единственными радионуклидами, измеренными в грунтовых водах, были U-234, U-238 и Ra-226. Результаты представлены в таблице 5 [3].

Таблица 5. Концентрации радионуклидов (Бк/м³) в грунтовых водах, используемых для питья в Дегмае [3].

Радионуклиды	Значение
²²⁶ Ra	150
²³⁴ U	1000
²³⁸ U	1000

Требования заинтересованных сторон. Согласно [12] цель заключается в определении требований заинтересованных сторон к системе, предоставляющая услуги, необходимые пользователям и другим заинтересованным сторонам в определенной среде. Одним из основных критериев заключается в том, что общественность хочет быть уверена в отсутствии опасностей для жизни и в том, что окружающая среда чиста с точки зрения радиоэкологии.

Правительству необходимо доступное решение: Обеспечивает долгосрочную производительность и минимизирует опасности для окружающей среды и населения; Оптимизирует стратегии, техноло-

гии и затраты на рекультивацию; Уменьшает негативное воздействие уранового хвостохранилища на население и окружающую среду; Предотвращает загрязнение подземных вод.

Регулирующий орган: Контролирует концентрацию радионуклидов в воздухе. Измеряет выбросы радона в воздухе и снижает концентрацию радона до фоновых уровней, 15-20 Бк/м³; Предотвращает загрязнение подземных вод. Контролировать концентрацию радионуклидов, таких как радий Ra-226 и изотопы урана U-234, U-238 в грунтовых водах; Укрепляет физическую защиту и предотвращает доступ общественности на объект; Разрабатывает программу мониторинга

и измерения концентрации радионуклидов в воде, почве и воздухе.

Государственное унитарное предприятие «Таджредмет»: Доступ к скважинам мониторинга грунтовых вод; Долгосрочная программа мониторинга.

Требования к эффективности. Типичными целями требований к (эффективности) результативности работы являются обеспечение соответствия концепции рекультивационных работ на участке Дегмай: Минимизация мощности дозы радиации до фонового уровня (с 20 мкЗв/ч до 0,18 0,2 мкЗв/ч); Предотвращение эрозии поверхности объекта, коррозию и обеспечение надлежащей защиты от проникновения человека в период эксплуатации; Наличие адекватной конструкции и системы покрытия участка способные поддерживать работоспособность более 100 лет и снижающие выброс радона до рекомендуемого безопасного уровня в случае покрытия поверхности хвостохранилищ в РТ 1 Бк м²с⁻¹; Обеспечение годовой дозы для работников в пределах установленного регламента (20 миллизиверт/год).

Функциональные требования. Для данного исследования к функциональным требованиям отнесены: мониторинг подземных (грунтовых) вод; измерение степени загрязнения почвы; оценка дозы облучения населения.

Востребована разработка программы мониторинга подземных (грунтовых) вод и загрязнения почвы, с периодической проверкой, путем восстановления

В настоящее время для оценки устойчивости и производительности проекта, учитывающая насыщенную гидравлическую проводимость материала для каждого слоя, а также климатические условия региона будет использован Компьютерный код HELP (Гидрологическая оценка производительности полигона).

Результаты и их обсуждения

Одним из источников, выделяющих радиоактивность и формирующих до-

полнительное воздействие на население, является радон и продукты его распада. Особенно острая проблема радона существует в жилых районах, расположенных в непосредственной близости от урановых хвостохранилищ Дегмая. В связи с этим основной идеей концепции проекта покрытия должна быть сосредоточение на снижении эманации радона из хвостохранилищ, предотвращении распространения хвостохранилищ через эрозию конструкции покрытия, а также, снижение загрязнения за счет просачивания и снижение риска для населения и окружающей среды, в том числе загрязнение грунтовых вод.

Выводы

Применение принципов и методов системной инженерии позволить разработать проект, с учетом анализа и оценки текущей ситуации на объекте, определить потребности, требования и осуществить выбор адекватной концепцию эксплуатации урановых хвостохранилищ, в частности Дегмайского хвостохранилища. В виду того, что все урановые хвостохранилища Северного Таджикистана (таблица 1) расположены в одной климатической зоне, то в перспективе полученный опыт, подтвержденный соответствующими данными, позволить распространить их для каждого отдельного участка.

Литература

1. International Atomic Energy Agency, Safe Management of Residues from Former Mining and Milling Activities in Central Asia, IAEA, Vienna (2009).
2. Саидов В.Я. Инженерное обеспечение экологической безопасности окружающей среды в зона влияния поверхностного хвостохранилища // В.Я. Саидов, И.У. Мирсаидов, А.Р. Фазылов // Научно-практический журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии национальной академии наук Таджикистана. Том 4, №4., 2024. С. 183-194.
3. Мирсаидзода И., Назаров Х.М., Саломов Дж.А. Радиоактивные хвостохранилища Таджикистана: Проблемы и решения, , Душанбе, 2022 - 206с.

4. International Atomic Energy Agency. Division of Radiation, Transport and Waste Safety. Assessment and Proposals for Uranium Production Legacy Sites in Central Asia: An International Approach, Technical Meeting, 2009-2010.
5. https://hes.mephi.ru/?page_id=19168
6. (Blanchard B., Fabrycky W. Systems Engineering and Analysis. - Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1981).
7. Systems and software engineering — System life cycle processes. ISO/IEC 15288:2008.
8. file:///C:/Users/%D0%90%D0%BB%D0%B8/Downloads/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B5%D0%.pdf
9. <https://www.environment.nsw.gov.au/>
10. Закон РТ «О радиационной безопасности».
11. International Atomic Energy Agency, "Safe Management of Residues from Former Mining and Milling Activities in Central Asia," IAEA, 2009.
12. International Standard, System Life Cycle Processes 2008. (I. 15288-2008, "Международный стандарт, процессы жизненного цикла системы", 2008.)
13. International Atomic Energy Agency. The Long Term Stabilization of Uranium Mill Tailings, IAEA-TECDOC-1403, Vienna, August 2004.
14. Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi), Public Relations Division/L2, 20 Years Wismut GmbH, Remediation for the Future, D-10115 Berlin, German.

ПРИНЦИПҲОИ МУҲАНДИСИИ СИСТЕМАВӢ ҲАНГОМИ ТАРҲРЕЗИИ БАРҚАРОРСОЗИИ АНБОРИ УРАН

Саидзода В. Я.^{1,2,*}, Мирсаидзода И.У.², Фазылов А.Р.³

¹Муассисаи давлатии илмӣ «Маркази омӯзиши пиряхҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон»

²Агентии амнияти химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

³Институтҳои масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

*Муаллифи масъул. E-mail: s.vaysidin@gmail.com

Шарҳи мухтасар. Истихроҷ ва коркарди уран дар аксари кишварҳои Осиёи Марказии собиқӣ Иттиҳоди Шӯравӣ, аз ҷумла дар Тоҷикистон як соҳаи пуришддат буд ва аз худ партовҳои радиоактивиро боқӣ монданд. Дар мақолаи мазкур принципҳои асосии муҳандисии системавӣ, ки ҳангоми таҳияи консепсияи лоиҳа ва истифодаи барқароркунии партовгоҳи Деҳмӯй воқеъ дар вилояти Сугди Ҷумҳурии Тоҷикистон ба воситаҳои инчунин усулҳои татбиқи онҳо оварда шудаанд.

Калидвожаҳо: Тоҷикистон, Деҳмӯй, муҳандисии системавӣ, партовгоҳҳои уранӣ, барқароркунии, партовҳои радиоактивӣ, пӯшондан, консепсияҳои тарҳрезӣ ва истифодабарӣ.

PRINCIPLES OF SYSTEM ENGINEERING IN DESIGNING THE RECLAMATION OF URANIUM TAILING SITES

Saidzoda V.Y.^{1,2,*}, Mirsaidzoda I.U.², Fazilov A.R.³

¹State Scientific Institution "Glacier Study Center" of the National Academy of Sciences of Tajikistan

²Agency of the Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Safety and Security Agency of the National Academy of Sciences of Tajikistan

³Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan

*Corresponding author. E-mail: s.vaysidin@gmail.com

Abstract. Uranium mining and processing was an intensive industry in most of the former Soviet Central Asian countries, including Tajikistan, and left behind radioactive waste. This article presents the main principles of systems engineering that were used in the development of the project concept and operation of the rehabilitation of the Degmai uranium tailing dump located in the Sughd region of the Republic of Tajikistan, as well as the tools and methods for their implementation.

Keywords: Tajikistan, Degmai, systems engineering, uranium uranium tailing sites, remediation, radioactive waste, cover, design and operation concepts.

Маълумот дар бораи муаллифон: Саидзода Вайсиддин Ятим, номзади илмҳои кимиё, унвонҷӯи доктори илм, докторанти Агентии амнияти химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии АМИТ, E-mail: s.vaysidin@gmail.com, Тел.: (+992) 934046144; Мирсаидзода Илхом Улмас, доктори илмҳои техникӣ, профессор, директори Агентии амнияти химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии АМИТ, E-mail: I.mirsaidzoda@cbrn.tj Фазылов Али Рахматджанович, доктори илмҳои техникӣ, профессор, мудири лабораторияи «Иншоотҳои гидротехникӣ»-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, E-mail: alifazilov53@gmail.com, Тел.: (+992) 918565070;

Сведения об авторах: Саидзода Вайсиддин Ятим, кандидат химических наук, соискатель ученой степени доктора наук, докторант Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАНТ; E-mail: s.vaysidin@gmail.com, Тел.: (+992)934046144; Мирсаидзода Илхом Улмас, доктор технических наук, профессор, директор Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАНТ, E-mail: I.mirsaidzoda@cbrn.tj, Фазылов Али Рахматджанович, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией «Гидротехнические сооружения» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, E-mail: alifazilov53@gmail.com, Тел.: (+992)918565070;

Information about the authors: Saidzoda Vaysiddin Yatim, PhD candidate of chemical science, doctoral candidate for Agency of the Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Safety and Security Agency of the National Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, E-mail: s.vaysidin@gmail.com, Phone: (+992) 934046144; Mirsaidzoda Ilkhom Ulmas, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Safety and Security Agency of the National Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, E-mail: I.mirsaidzoda@cbrn.tj, Fazylov Ali Rakhmatdzhonovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory "Hydraulic Structures" of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, E-mail: alifazilov53@gmail.com, Phone: (+992) 918565070.

УДК:330.111.62:123.6:526.35: 334.7:65.2/4

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЁРДЫХ ОТХОДОВ

Рауфи К.А.^{1,*}

¹Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана
*Автор корреспондент. E-mail: komilra06@gmail.com

Аннотация. Методы оценки экологической опасности применяются для выявления экологической опасности проектируемой отрасли промышленности для ландшафтов разных природных зон. В статье приведён анализ методов экологоэкономической оценки эффективности переработки твёрдых отходов. Также освещается метод материальных балансов и технических расчётов, позволяющий провести анализ материальных балансов основных компонентов сырья и материалов, воды, загрязняющих веществ в каждом технологическом звене и на выходе в природную среду. Балансовые схемы материальных потоков позволяют выявить источники выбросов и сбросов, дать количественную оценку техногенных потоков в природную среду, выявить качественный состав и агрегатное состояние загрязнителей и в целом охарактеризовать все каналы связи технологии и природной среды.

Ключевые слова: анализ, метод, оценка, эффективность, твёрдые отходы, переработка отходов, экология, технология, безопасность, производство.

Введение

Экологическая оценка технологии производства - это анализ и оценка экологических последствий и экологического риска технологий в случае нормальной или аварийной эксплуатации объекта с целью доказать экологическую безопасность технологии или установить степень

её опасности.

Экологическая оценка технологий производится при экологическом обосновании выбранного способа производства и технологии с учётом всех экологических последствий данной технологии. При экологической оценке технологий определяется степень экологичности и экологиче-

ской опасности способов производства и технологических переделов, оцениваются выходы технологии в природную среду, делается оценка экологической опасности продукции, её использования и хранения, а также оценивается опасность хранения и использования отходов [1, 2].

Нормативная основа экологических оценок — это прежде всего соблюдение действующих нормативов технологии сырья, землеёмкости, ресурсоёмкости, отходности, а также санитарно-гигиенических нормативов.

Методы экологической оценки технологий: метод материальных балансов и технических расчётов; метод технологической альтернативы; методы прогнозирования технологического риска; методы регистрации экологических последствий технологий производства; методы оценки экологической опасности технологий.

Среди методов экологической оценки технологий доминирующее положение занимают балансовые методы.

Метод материальных балансов и технических расчётов позволяет провести анализ материальных балансов основных компонентов сырья и материалов, воды, загрязняющих веществ в каждом технологическом звене и на выходе в природную среду. Балансовые схемы материальных потоков позволяют выявить источники выбросов и сбросов, дать количественную оценку техногенных потоков в природную среду, выявить качественный состав и агрегатное состояние загрязнителей и, в целом, охарактеризовать все каналы связи технологии и природной среды [3].

Метод технологической альтернативы предполагает анализ и оценку технологии по отношению к существующим технологическим аналогам с заданной экологичностью. Он позволяет сравнить оцениваемую технологию с экологически безопасными аналогами.

Методы прогнозирования технологического риска - это системный анализ и

прогнозирование возможных аварийных ситуаций, а также оценка технологического риска и аварийности при нормальной эксплуатации. Результативно применение имитационного моделирования и прогнозирования по технологическим аналогам в определённых природных условиях.

Методы регистрации экологических последствий технологий производства включают в себя системный анализ связей промышленной технологии с природной средой, а также анализ каналов связей и оценку их экологичности.

Методы оценки экологической опасности технологии применяются для выявления экологической опасности проектируемой отрасли промышленности для ландшафтов разных природных зон. Разработана серия интегральных показателей воздействия и нарушения ландшафтов. Показатель поступления техногенных выбросов водным и воздушным путём в единицу времени на единицу площади характеризует интенсивность воздействия; показатель удельных нарушений ландшафтов на единицу выбросов или на единицу мощности применяется при определении экологической опасности производства для определённого 1 зонального типа ландшафта.

В странах ЕС система управления отходами предполагает наличие интегрированной системы различных аспектов: социальных, экономических, нормативно-правовых, управленческих, технических.

Основой системы управления отходами в ЕС служит Концепция управления отходами и провозглашённые в ней принципы устойчивого развития, которые определяют основное направление управления отходами и создают основу иерархии методов обращения с отходами [4].

Вовлечение отходов производства и потребления в хозяйственный оборот в качестве вторичных источников сырья и энергоресурсов даёт значительный эко-

логический и экономический эффект, позволяет существенно уменьшить техногенную нагрузку на окружающую среду в условиях продолжающегося необратимого сокращения природных ресурсов.

Вместе с тем, необходимо отметить, что развитие систем селективного сбора, сортировки и переработки вторичного сырья, извлеченного из отходов, требует значительного времени и больших финансовых ресурсов. Хотя для каждого вида отходов существует специальная технология их утилизации и обезвреживания, спрос на многие вторичные продукты являются очень малым по двум причинам: 1) высокая стоимость переработки 2) низкий спрос и высокая стоимость конечного продукта [5, 6].

Основной проблемой сложившихся способов переработки вторсырья является не отсутствие технологий переработки, а отделение вторсырья от остального мусора (и разделение различных компонент вторсырья). Существует множество технологий, позволяющих разделять отходы и вторсырьё. Все они - затратные и самая дорогая и сложная из них - извлечение вторсырья из уже сформировавшегося общего потока отходов на специальных предприятиях.

Следует отметить, что опыт раздельного сбора бытовых отходов (Санкт-Петербург, Москва, Смоленск и др.) оказался негативным вследствие перечисленных факторов. Развитие этих технологий требует значительных финансовых инвестиций и длительного периода перестройки экономики. Достаточно отметить, что 2,5 - кратное увеличение доли отходов, подлежащих повторному использованию, потребовало в Евросоюзе около 15 лет.

Представляется целесообразным, что с учётом возможностей использования ТБО как вторичного энергетического ресурса, следует ограничиться организацией сбора (можно сказать - «целевого сбора») только тех вторичных ресурсов (стеклянные бутылки, металлические банки), которые востребованы и переработка которых экономически выгодна, не требует значительных энергетических затрат и не наносит экологического вреда.

Основной задачей термической переработки отходов является целенаправленное удаление из ТБО загрязняющих веществ.

Принципиальными отличиями технологий являются температура воздействия на отходы, доступ кислорода к ним и экологические последствия (табл. 1) [7].

Таблица 1. Режимы воздействия на ТБО.

№	Температура, °С	Характеристики
1.	0-80	Компостирование
2.	450-600	Пиролиз
3.	800-900	Газификация
4.	850-1200	Сжигание
5.	1300-1700	Плазменная печь

Кроме этого, существует возможность использования энергетического потенциала отходов для получения тепловой и электрической энергии или промышленного технологического пара. Бытовые отходы имеют теплотворную способность бурого угля, т.е. около 9-11 МДж/кг. Это положение используется в европейской концепции «Отходы в энергию». Из мусора, используемого в качестве топлива, производят пар, который применяется для экономии природных энергоносителей, таких как уголь, газ или нефть. Сберегаются топливные ресурсы, отходы используются в качестве альтернативного, возобновляемого энергоносителя. Таким образом, мусоросжигательные заводы не только вносят значительный вклад в экологически приемлемое устранение отходов, они также способствуют сокращению выбросов парниковых газов и, тем самым, борьбе с глобальным потеплением [8].

При сортировке ТБО количество выделенного вторичного пластика составляет не более 280 кг (7%), из которого можно выделить около 250 кг чистого вторичного продукта. Используя, как вторичное топливо, отсортированные остатки ТБО, при сжигании можно получить на 30-35% меньше энергии - 20 000 МДж, что позволяет дополнительно произвести до 4т чистого пластика.

Таким образом, сжигание ТБО без сортировки на высокотехнологичных мусоросжигающих заводах даёт возможность производства на 40% больше пластика, причём - без сжигания природного топлива.

Термическое обезвреживание отходов даёт возможность: экологически рационально использовать не утилизируемую часть отходов; производить инертные, не способные к негативному воздействию остатки отходов, которые под контролем и экологически безопасно могут складироваться на полигонах; значительно

сократить содержащиеся в отходах загрязняющие вещества; уменьшить объём отходов в 10 раз; использовать содержащуюся в отходах энергию; заменить природные энергоносители, такие как нефть, природный газ или уголь;

Как отмечено, ТБО на 70-80% представлены органическими (горючими, биоразлагаемыми) веществами, поэтому для их переработки в принципе возможно применение термических и биотермических методов.

Из биотермических методов в практике наибольшее распространение получила аэробная ферментация, которую часто называют компостированием (по названию конечного продукта ферментации - компоста, используемого в сельском хозяйстве).

Ферментация - это биохимический процесс разложения органической части отходов микроорганизмами. В биохимических реакциях взаимодействуют органический материал, кислород и бактерии (сапрофитные аэробные микроорганизмы, присутствующие в ТБО в достаточных количествах), а выделяются диоксид углерода, вода и тепло (материал саморазогревается до 60-70°C). Процесс сопровождается синтезом гумуса. Размножение микроорганизмов-деструкторов отходов возможно при определенном соотношении углерода и азота.

По результатам исследований английских специалистов, на начальной стадии ферментации происходит минерализация смеси, о чём свидетельствует уменьшение общего содержания углерода органического вещества и гуминовых кислот. Образующаяся биомасса обладает высокой степенью полимеризации и характеризуется значительной (по сравнению с почвой) концентрацией азота. В процессе ферментации уменьшается содержание в биомассе фенольных групп и увеличивается содержание групп НООС и С=О.

Компостирование ТБО в мировой

практике развивалось как альтернатива сжиганию (первый завод в Европе по компостированию ТБО был построен в 1932 г. в Нидерландах). Экологической задачей компостирования можно считать возвращение части отходов в круговорот природы.

Наиболее интенсивно компостирование ТБО развивалось с конца 60-х до начала 80-х годов преимущественно в странах Западной Европы (Италия, Франция, Нидерланды). В Германии пик строительства заводов пришёлся на вторую половину 80-х годов (в 1985 г. в компост перерабатывали 3% ТБО, в 1988 г. - около 5%). Интерес к компостированию вновь повысился в середине 90-х годов на основе вовлечения в переработку не ТБО, а селективно собранных пищевых и растительных отходов, а также отходов садово-паркового комплекса (термическая переработка этих отходов затруднена из-за большой влажности, а захоронение связано с неконтролируемым образованием фильтрата и биогаза). В европейской практике к 2000 г. с применением аэробной ферментации ежегодно перерабатывали около 4,5 млн. т отходов более чем на 100 заводах (из них в 1992-95 гг. построено 60 заводов).

В странах СНГ прямое компостирование исходных ТБО применяют на девяти заводах: в Санкт-Петербурге (первый завод в бывшем СССР, построен в 1971 г.; в конце 1994 г. в Санкт-Петербурге введён в строй второй завод), Нижнем Новгороде, Минске и Могилеве, Ташкенте, Алма-Ате, Тбилиси и Баку (все заводы запроектированы институтом «Ги-прокоммунстрой», Могилевский - институтом «Белкоммунпроект»), В 1998 г. вошёл в строй завод в Тольятти, на котором реализована предварительная, но малоэффективная сортировка ТБО.

Обезвреживание и утилизация отходов производства и потребления. Защита городской среды от бытовых отходов

(БО) состоит в их сборе, транспортировке, переработке или складировании. Все эти операции оцениваются соответствующими показателями. Повышение уровня комфортности жилья приводит к увеличению бытовых отходов на всех стадиях деятельности человека, в том числе и в строительстве. Это увеличение составляет примерно 1-3% в год на каждого жителя. На объём ТБО и последующие операции влияют климат, характер застройки, уровень промышленного развития, торговля, сфера услуг и другие условия. Необходимо отметить, что в населённых пунктах (городах, посёлках) России ежегодно образуется около 120-140 млн. т отходов.

Наиболее распространёнными методами за рубежом являются: складирование на полигонах (ликвидационный биолого-механический); сжигание (ликвидационный термический); компостирование (утилизационный биологический). Эти методы обезвреживания и утилизации позволяют соблюдать нормативы по охране окружающей среды.

Способ сжигания ТБО получил широкое распространение в развитых странах Европы и мира. Как уже отмечалось, бытовые отходы состоят из компонентов, пригодных для повторного использования, как например, бумага, стекло, металл, биогенные отходы, а также из компонентов, которые невозможно повторно использовать: их необходимо сжигать и по причине охраны окружающей среды и климата ни в коем случае нельзя депонировать. Кроме этого, необходимо учесть, что и в процессах замкнутого цикла образуются отходы, которые с экологической точки зрения могут только сжигаться, как например, измельченные отходы, образующиеся при рециклинге автотранспорта и других видах рециклинга, поскольку в них содержится высокая доля органических веществ, а также они имеют высокий энергетический потенциал [9].

Несмотря на то, что в Европе всё ещё

широко используется селективный сбор отходов, направляемых на повторное использование, например, биогенных отходов, старых электрических приборов, бумаги, стекла, металла, количество отходов, направляемых на термическую переработку за три года увеличилось на 36%.

В 2006 году в Германии было 66 мусоросжигательных заводов, в 2009 году уже 70 заводов. В Австрии 29% отходов перерабатывают термическим способом.

В Германии, Австрии и Швейцарии уже 15 лет назад были приняты законы, которые запрещают депонирование необработанных отходов. Поэтому в этих странах необработанные отходы больше нельзя складывать на свалках. Исходной

ситуацией для этого была большая опасность и большой ущерб, нанесённый свалками воздуху и грунтовым водам, а также высокий парниковый эффект.

Термическая переработка широко развивается в таких развитых азиатских странах, как Корея, Япония, Тайвань и Сингапур. Даже развивающиеся экономики Таиланда, Вьетнама, Малайзии, Индонезии и Индии серьезно задумываются о развитии данного рынка [10,11].

В настоящее время в мире работает более 2 500 МСЗ, утилизирующих около 200 млн. т ТБО в год и вырабатывающих 130 ТВт·ч электроэнергии. Общее количество мусоросжигательных заводов только в Европе превышает 400 (табл. 2).

Таблица 2. Количество заводов и их средняя мощность в странах ЕС.

№	Страна	Количество заводов	Средняя мощность, т/ч
1.	Австрия	8	20
2.	Бельгия	18	20
3.	Великобритания	21	24
4.	Венгрия	1	60
5.	Германия	73	36
6.	Дания	31	16
7.	Италия	51	14
8.	Испания	10	24
9.	Люксембург	1	16
10.	Нидерланды	11	62
11.	Норвегия	13	11
12.	Португалия	3	68
13.	Франция	127	15
14.	Чехия	3	40
15.	Швейцария	28	16
16.	Швеция	30	22

Наиболее полная информация практически обо всех предприятиях, на которых в качестве топлива используют ТБО и то-

пливо из отходов (RDF), собрана по Германии (табл. 3).

Таблица 3. Количество сжигаемых ТБО в Германии
(по данным ведомства по охране окружающей среды - UBA).

Год	Количество	Количество тыс.т/год
1965	7	718
1970	24	2829
1975	33	4582
1980	42	6343
1985	46	7877
1990	48	9200
1995	52	10870
2000	61	13999
2005	66	16900
2007	72	17800
2008	72	17600
2009	82	20450
2010	84	20830

По оценкам экспертов, совокупная г. она составила около 3,7 млрд. долл., в
прибыль термической переработки от- 2016 г. достигнет 13,6 млрд. долл. (Таб. 4).
ходов в мире будет быстро расти. В 2010

Таблица 4. Производство электро- и теплоэнергии из ТБО в 2008 г.

Страна	Электроэнергия, ТВт-ч		Тепло, ТДж	
	Возобнов-ляемая	Невозобнов-ляемая	Возобновля-емое	Невозобнов-ляемое
Германия	4 506	4 506	21 876	21 876
Франция	1 888	1 888	10 668	10668
Дания	1 097	769	14 891	10434
Нидерланды	1 432	1 490	4 133	4 301
Италия	1 556	1 556	3 090	3 090
Швеция	1 269	846	17 787	11 858
Великобритания	1 226	736	0	0
Испания	782	782	0	0
Европейский союз	16 157	14 840	87 681	74 791
США	9513	7 474	6 372	5 006

В мае 2012 года в Мюнхене (Германия) крупнейшей в мире экологической выставке IFAT Entsorga - 2012, которая проходит каждые два года, были представлены более 20 авторитетных компаний, которые занимаются переработкой отходов. При этом 16 компаний непосредственно внедряют и применяют технологию термической переработки, из них 12 - используют технологию сжигания ТБО.

Выводы

Проведён анализ существующего положения в области энергетического использования ТБО в странах СНГ и за рубежом, определены компоненты твёрдых бытовых отходов, проведена разработка принципиально новой технологии сжигания отходов для применения его в Таджикистане и основные технические показате-

тели современной технологии сжигания ТБО.

Литература

1. Тугов А.Н., Москвичев В.Ф. Современный подход к переработке твердых бытовых отходов // Комплексное использование вторичных ресурсов и отходов: сб. тез. докл. 2-ой науч.-практ. конф., 24-25 сент. 2009.- СПб, 2009 г.-С. 69-71.
2. Переработка твердых бытовых отходов: термическая и биотермическая [Электронный ресурс] / Метал-Спейс. Режим доступа: <http://metalspace.ru>.
3. Характеристика твердых бытовых отходов [Электронный ресурс] /
4. Объекты утилизации твердых бытовых отходов и их влияние на почвенный покров [Электронный ресурс] / Студенческая библиотека «Онлайн». Режим доступа: <http://studbooks.net>.
5. Волинкина Е.П., Долгополов В.П., Протопопов Е.В., Сокоов В.В., Ганзер Л.А., Щеглов М.А. Переработка горючих компонентов твердых бытовых отходов в металлургии [Текст] / Эко-Бюллетень ИНЭКА. -№ 5 (130).
6. Нехамин С.М. Технологический комплекс ПИРОТАРК по переработке твердых бытовых отходов (ТБО) [Электронный ресурс] / Сайт ООО «НПФ КОМТЕРМ».
7. Барабанный печь [Электронный ресурс] / Справочник "Кибер Ленинка". Режим доступа: www.cyberleninka.ru.
8. Пиролиз [Электронный ресурс] / Компания "ENCE-GmbH". Режим доступа: <http://www.gas-burners.ru/pyrolysis.php>.
9. Газификатор для термической переработки углеродсодержащих отходов и способ их переработки [Электронный ресурс] / Библиотека "Патентный поиск". Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/234/2342599.html>.
10. Утилизация отходов процессов газификации топлив [Электронный ресурс] / Справочник "Экология". Режим доступа: www.ecology.info.
11. Махмадалиев А.Г., Хакдод М.М. Анализ экологической ситуации и влияние недропользования на окружающую среду зеравшанского горнорудного региона // Научно-практический журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии национальной академии наук Таджикистана. Том 1, №5., 2025. С. 139-151.

ТАҲЛИЛИ УСУЛИ ЭКОЛОГӢ ВА ИҚТИСОДИИ АРЗОДИДАНИ САМАРАИ КОРКАРДИ МАҲСУЛОТ

Рауфӣ К.А.^{1,*}

¹Институти масъалаҳои об гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

*Муаллифи масъул. E-mail: kamilra06@gmail.com

Шарҳи мухтасар. Усулҳои арзёбии ҳатари экологии технология барои муайян кардани ҳатари экологии соҳаи пешбиниишаванда барои манзараҳои минтақаҳои гуногуни табиӣ истифода мешаванд. Дар мақола таҳлили усулҳои арзёбии экологӣ ва иқтисодии самаранокии коркарди партовҳои саҳти саҳт пешбинӣ шудааст. Он инчунин усули балансҳои модди ва ҳисобҳои техникиро дарбар мегирад, ки имкон медиҳад балансҳои моддии қисмҳои асосии ашёи хом ва масоҳат, об, моддаҳои ифлоскунанда дар ҳар як звенои технологӣ ва дар баромади муҳити табиӣ таҳлил карда шавад. Диаграммаҳои мувозинати ҷараёнҳои моддӣ имкон медиҳанд, ки манбаъҳои партовҳо ва партовҳо, баҳодиҳии миқдори ҷараёнҳои техногенӣ ба муҳити табиӣ, муайян кардани таркиби сифатӣ ва ҳолати умумии ифлоскунандаҳо ва умуман тавсифи тамоми каналҳои алоқаи байни технология ва муҳити табиӣ.

Калидвожаҳо: таҳлил, усул, арзёбӣ, самаранокӣ, партовҳои саҳт, коркарди партовҳо, экология, технология, беҳатарӣ, истеҳсолот.

ANALYSIS OF THE ECOLOGICAL AND ECONOMIC METHOD OF ASSESSING THE EFFICIENCY OF PRODUCT PROCESSING

Raufi K.A.^{1,*}

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

*Corresponding author. E-mail: komilra06@gmail.com

Abstract. Methods of assessing the environmental hazard are used to identify the environmental hazard of the projected industry for landscapes of different natural zones. The article provides an analysis of the methods of ecological and economic assessment of the efficiency of solid waste processing. It also covers the method of material balances and technical calculations that allows analyzing the material balances of the main components of raw materials and materials, water, pollutants in each technological link and at the outlet to the natural environment. Balance charts of material flows allow identifying sources of emissions and discharges, giving a quantitative assessment of technogenic flows into the natural environment, identifying the qualitative composition and aggregate state of pollutants and generally characterizing all channels of communication between technology and the natural environment.

Key words: analysis, method, assessment, efficiency, solid waste, waste processing, ecology, technology, safety, production.

Сведения об авторе: Рауфи Комил Абдугаффорзода, старший научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана. тел: 918997968. mail: komilra06@gmail.com

Маълумот дар бораи муаллиф: Рауфӣ Комил Абдугаффорзода, ходими калони илмӣ, Институти маъсалаҳои гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. тел: (+992)918997968, E-mail: komilra06@gmail.com

Information about the author: Raufi Komil Abdugaffor, Senior Researcher at the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Phone: (+992)918997968. E-mail: komilra06@gmail.com

УДК 796.524 (575.3)

РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА И ЕГО НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ В ТАДЖИКИСТАНЕ

Ходжаева Н.Х.^{1,*}, Кариева Ф.А.¹, Абдуллоева П.Н.¹

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

*Автор-корреспондент. E-mail: ray05.03.25@gmail.com

Аннотация. Экотуризм в Таджикистане представляет собой уникальную возможность для устойчивого развития страны, обладающей богатым природным и культурным наследием. В данной статье рассматриваются основные аспекты экотуризма в Таджикистане, его влияние на экономическое развитие, охрану окружающей среды и социальное благополучие местных сообществ. Также обсуждаются вызовы, с которыми сталкивается экотуризм, и предлагаются рекомендации для его дальнейшего развития.

Ключевые слова: Таджикистан, экотуризм, экономическое развитие, культурные связи, устойчивое развитие страны, охрана окружающей среды, иностранные туристы.

Введение

В последние десятилетия экотуризм стал важным инструментом устойчивого развития, способствующим экономическому росту и охране окружающей среды. Таджикистан, обладая уникальными природными ресурсами, высокими горами и

богатым культурным наследием, имеет все предпосылки для успешного развития экотуризма. В условиях глобальных изменений и растущего интереса к устойчивым формам туризма, экотуризм может сыграть ключевую роль в экономическом развитии страны [1].

Таджикистан, находясь в центре Центральной Азии, предлагает туристам разнообразные возможности для активного отдыха и знакомства с уникальной природой и культурой. Национальные парки, такие как Памир и Зарафшан, привлекают внимание как местных, так и международных туристов, создавая новые рабочие места и способствуя развитию местной экономики. Экотуризм не только способствует увеличению доходов от туристической деятельности, но и поддерживает местные сообщества, позволяя им участвовать в управлении природными ресурсами и получать выгоду от их сохранения.

Однако, несмотря на значительный потенциал, экотуризм в Таджикистане сталкивается с рядом вызовов, включая недостаток инфраструктуры, отсутствие квалифицированного персонала и необходимость в устойчивом управлении природными ресурсами. Важно учитывать эти аспекты для того, чтобы экотуризм стал действительно эффективным инструментом экономического развития, способствующим не только росту доходов, но и охране окружающей среды и улучшению качества жизни местного населения [2].

Таблица 1. Анализ основных стран - источников туристов в Таджикистане и СНГ: Факторы туристического потока.

Страны	Причины интереса
Россия	Исторические и культурные связи, разнообразие туров
Франция	Экотуризм и культурные достопримечательности
Венгрия	Природные красоты и активный отдых
Испания	Интерес к культуре и приключениям
Швейцария	Альпинизм и активные виды отдыха
Португалия	Природа и экотуризм
Германия	Уникальные природные ландшафты
Чехия	Культура и история
Китай	Культурные и исторические достопримечательности
Иран	Культурные обмены и исторические памятники
США	Уникальные приключения и экзотические направления
Италия	Культура, история и природа
Канада	Активный отдых и экотуризм
Австралия	Новые впечатления и приключения
Япония	Культура и экзотические путешествия
Казахстан	Близость, культурные обмены и интерес к природным красотам
Кыргызыстан	Соседство, культурные связи и исторические достопримечательности
Армения	Интерес к экотуризму и культурным программам
Беларусь	Культурные обмены и общая история
Узбекистан	Соседство, культурные связи и исторические достопримечательности

В 2014 году международный портал «Glops Nops» выделил Таджикистан как одну из десяти стран-лидеров в области экскурсионного и экстремального туризма, при этом экологический туризм стал особенно актуален. С того времени на-

блюдается значительный рост числа туристов, посещающих республику: если в 2014 году страну посетили 207 тысяч человек, то к 2017 году это число возросло до 514 тысяч, а в 2018 году превысило 1

миллион 252 тысячи, что на 2,3 раза больше по сравнению с предыдущим годом.

На протяжении 27 лет независимости Таджикистаном интересовались жители 59 стран мира, а к 2018 году это число увеличилось до 167 стран. Это связано с тем, что в 2014 году республика вошла в десятку стран с высоким уровнем безопасности, а в начале 2017 года, по данным Всемирной туристической организации,

Таджикистан также оказался в числе десяти стран с развивающимся туристическим сектором.

В ближайшем будущем Таджикистан имеет все шансы стать важным туристическим центром, и современные условия способствуют развитию этого направления. Страна обладает потенциалом для продвижения различных видов туризма [5].



Рисунок 1. Общее количество иностранных туристов за 2024 год
Источник: Статический ежегодник Республики Таджикистан.

Общее количество иностранных туристов, посещающих Таджикистан, демонстрирует впечатляющую динамику, особенно в последние годы. Туристы из стран дальнего зарубежья составляют значительную часть потока, что свидетельствует о растущем интересе к этой загадочной и живописной стране Центральной Азии.

Таджикистан привлекает путешественников не только своим богатым культурным наследием и историческими памятниками, но и возможностями для активного отдыха, такими как горные походы, альпинизм и экологический туризм.

Уникальная природа, включая горные цепи Памира и живописные озера, создает идеальные условия для приключений и открытия новых горизонтов.

С каждым годом количество туристов из дальнего зарубежья увеличивается, что подтверждается ростом числа визовых обращений и улучшением инфраструктуры для приема иностранных гостей. Таджикистан привлекает внимание не только туристов из соседних стран, но и путешественников из Европы, Америки и Азии, что делает его перспективным направлением для международного туризма.

Благодаря активизации рекламных кампаний и улучшению безопасности, республика имеет все шансы продолжить

притягивать всё больше иностранных граждан, открывая перед ними богатство своей культуры, природы и традиций [6].



Рисунок 2. Общее количество туристов из стран СНГ за 2024 год.

Экотуризм может стать важным источником дохода для Таджикистана, создавая рабочие места и поддерживая местные сообщества. Развитие туристической инфраструктуры, такой как гостиницы, рестораны и экскурсионные услуги, может привести к увеличению доходов и улучшению жизненных условий местного населения. Примеры успешных экотуристических проектов, таких как "Семена Памира", показывают, как экотуризм может быть интегрирован в местную экономику.

Выводы

На основании анализа данных о количестве иностранных туристов, посещающих Таджикистан в 2024 году, можно утверждать, что республика имеет значительный потенциал для развития туризма, особенно в сегменте экотуризма. Увеличение потока туристов из дальнего зарубежья подтверждает растущий интерес к уникальной природе и культурному наследию Таджикистана, что является важным показателем для данной отрасли.

Таджикистан обладает разнообразными природными ресурсами, такими как впечатляющие горные цепи Памира и живописные озера, которые становятся центрами притяжения для любителей активного отдыха и приключений. Кроме того, успешные инициативы в области экотуризма, как, например, проекты "Семена Памира", подчеркивают важность интеграции туристической деятельности в местную экономику и поддержания социального развития.

Улучшение инфраструктуры, повышение уровня безопасности и активные рекламные кампании способствуют росту привлекательности страны как туристического направления. Возможность создания новых рабочих мест и поддержка местных сообществ через развитие туризма могут привести к значительным положительным изменениям в экономике Таджикистана.

Таким образом, с учетом текущих тенденций и потенциальных возможностей, Таджикистан может стать важным игро-

ком на арене международного туризма, а развитие экотуризма, в частности, станет ключом к устойчивому экономическому развитию страны и сохранению её богатого культурного и природного наследия.

Литература

1. Атышов, К.А., Экотуризм. /К.А. Атышов, Б.У. Турдумамбетов// Учеб. Пособие.- Бишкек. 2004. - 320 с.
2. Гуляев, В.Г. Организация туристской деятельности. // В.Г. Гуляев - М.: НОЛИДОК. -1996. -с.23.
3. Джанджугазова, Е.Д. Экотуризм: причина популярности и пути развития. Туризм: практика, проблемы, перспективы. // Е.Д. Джанджугазова. - М., - 2003, - № 6. - с.7-8.
4. Дроздов, А.В. Экотуризм: определения, принципы, признаки, формы.- Сб.докл. науч. практ. конф. // А.В. Дроздов - М., - 1999.
5. Карамхудоев Х.Е., Экологический туризм как фактор приобщения людей к ценностям природного и культурного наследия. / Х.Е., Карамхудоев // Вестник Таджикского технического университета. - 2011.Серия 1(13) Экология. – С.99-103.
6. Таджикистан Республика (2020). "Национальная стратегия устойчивого развития." Душанбе.
7. Ключанова Л.Г. Экологический туризм на особо охраняемых природных территориях: рекреационная деятельность и охрана окружающей среды // Закон. - 2023. - N 10. - с.59-67.
8. Экологический туризм в странах Южной Европы / Г.Н.Понеделько, Ю.Д.Квашнин, А.В. Гутник, О.Е.Трофимова // Мировая экономика и междунар. отношения. - 2018. - Т.62, N 2. - с.73-82.
9. Экологический туризм как направление развития туристского потенциала региона (на примере Тверской области) / И.Г.Шадская, Е.М.Крюкова, В.В.Овчинников, М.Н.Козина // Социальная политика и социология. - 2017. - Т.16, N 3. - с.51-59.
10. Тронева А.В. Экологический туризм в контексте зеленой экономики//Вопросы студенческой науки. – 2021. - № 6. – с. 388-392.

ДАР БОРАИ РУШДИ ЭКОТУРИЗМ ДАР ТОҶИКИСТОН

Хочаева Н.Х.^{1*}, Қориева Ф.А.¹, Абдуллаева П.Н.¹

¹Институту масъалаҳои об гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

*Муаллифи масъул. E-mail: ray05.03.25@gmail.com

Шарҳи мухтасар. Экотуризм дар Тоҷикистон имконияти беҳамтоест барои рушди устувори кишвар, ки дорои мероси бойи табиӣ ва фарҳангӣ мебошад. Ин мақола ҷанбаҳои асосии экотуризм дар Тоҷикистон, таъсири он ба рушди иқтисодӣ, ҳифзи муҳити зист ва неқӯаҳволии иҷтимоии ҷомеаҳои маҳаллиро баррасӣ мекунад. Мушкилоти экотуризм низ муҳокима карда мешаванд ва тавсияҳо барои рушди минбаъдаи он пешниҳод карда мешаванд.

Калидвожаҳо: Тоҷикистон, экотуризм, рушди иқтисодӣ, робитаҳои фарҳангӣ, рушди устувори кишвар, ҳифзи муҳити зист, сайёҳони хориҷӣ.

DEVELOPMENT OF ECO-TOURISM AND ITS NEW OPPORTUNITIES IN TAJIKISTAN

Khojaeva N.H.^{1*}, Karieva F.A.¹, Abdulloeva P.N.¹

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

*Corresponding author. E-mail: ray05.03.25@gmail.com

Abstract. Eco-tourism in Tajikistan represents a unique opportunity for the sustainable development of a country with a rich natural and cultural heritage. This article examines the key aspects of eco-tourism in Tajikistan, its impact on economic development, environmental protection, and the social well-being of local communities. The existing challenges of eco-tourism are also discussed and recommendations for its further development are proposed.

Keywords: Tajikistan, ecotourism, economic development, cultural ties, sustainable development of the country, environmental protection, foreign tourists.

Сведения об авторах: Ходжаева Нурбиби - докторант Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, г. Душанбе, ул. Бофанда 5/2, Тел.: (+992)900251197, E-mail: ray05.03.25@gmail.com; Кариева Фарангис Абдурахимовна – кандидат биологических наук, ученый секретарь Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, г. Душанбе, ул. Бофанда 5/2, Тел.: (+92)919337742, E-mail: karaeva-27@mail.ru; Абдуллоева Парвина Нуруллоевна - Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, младший научный сотрудник отдела гидротехнических сооружений. Тел: (+992) 90 655 5562.

Маълумот дар бораи муаллифон: Хочаева Нурбиби-докторанти Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, ш. Душанбе, к. Бофанда 5/2, Тел.: (+992)900251197, E-mail: ray05.03.25@gmail.com; Қориева Фарангис Абдурахимовна – номзади илмҳои биологӣ, котиби илмӣ Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, ш. Душанбе, к. Бофанда 5/2, Тел.: (+992)919337742, E-mail: karaeva-27@mail.ru; Абдуллоева Парвина Нуруллоевна - Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, ходими хурди илмӣ шуъбаи Иншоотҳои гидротехникӣ. Тел.: (+992) 906555562.

Information about the authors: Khojaeva Nurbibi – PhD student of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Bofanda 5/2 street, Phone:(+992)900251197, E-mail: ray05.03.25@gmail.com; Karieva Farangis Abdurahimovna – Candidate of biological sciences, Scientific secretary of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Bofanda 5/2 street, Phone:(+992)919337742; Abdulloeva Parvina Nurulloevna - Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, junior researcher in the department of hydraulic structures. Tel: (+992) 90 655 5562. E-mail:karaeva-27@mail.ru.

УДК 546.791:628.16:661.183.12

КИНЕТИКА СОРБЦИИ УРАНА ИЗ ШАХТНОЙ ВОДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КИИК-ТАЛА С РАЗЛИЧНЫМИ ОРБЕНТАМИ

Ходжизода С.К.^{1,*}

¹Горно-металлургический институт Таджикистана

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

Аннотация. В данном исследовании представлены результаты кинетического анализа процесса сорбции урана из шахтных вод с использованием различных сорбентов. В ходе эксперимента была проведена оценка эффективности нескольких типов сорбентов для сорбции урана, с целью выявления наилучшего сорбента для данного процесса. С помощью экспериментальных данных был построен график, отображающий зависимость кинетических кривых сорбции урана. На основе полученных данных была проведена сравнительная оценка, в ходе которой был выбран сорбент, демонстрирующий наилучшие результаты в процессе сорбции. Установлено, что наилучшим сорбентом для удаления урана из шахтных вод является Lewatit-DW-630.

Ключевые слова: шахтная вода, сорбент, сорбция, уран, кинетика процесса сорбции.

Введение

Кинетика сорбции урана из шахтной воды месторождения Киик-Тала с различными сорбентами представляет собой важное направление в области оценки эффективности методов очистки горных и подземных вод от загрязняющих веществ, в частности радионуклидов. Одним из наиболее опасных и экологически значимых элементов в таких водах является уран, способный накапливаться в биосфе-

ре и оказывать долговременное негативное влияние на здоровье человека и состояние окружающей среды.

В рамках подобных исследований основное внимание уделяется изучению механизмов сорбции, а также подбору наиболее эффективных и доступных по стоимости сорбентов, обладающих высокой селективностью и емкостью по отношению к ионам урана. Исследование кинетики сорбционного процесса позволяет

не только определить скорость удаления урана из водной среды, но и оптимизировать условия проведения очистки, что критически важно для разработки промышленных и локальных систем водоочистки.

Шахтные воды месторождения Киик-Тала характеризуются сложным химическим составом, включающим не только уран в различных валентных состояниях, но и сопутствующие токсичные элементы, такие как тяжелые металлы, соли, продукты окисления и др. Эти компоненты способны усиливать миграционную подвижность урана и затруднять его удаление традиционными методами очистки. Поэтому использование эффективных сорбентов, устойчивых к агрессивным условиям и обладающих высокой селективностью к урану, представляет собой ключевую задачу в обеспечении экологической безопасности региона.

Кроме того, изучение кинетических параметров, таких как скорость сорбции, равновесное время, константы скорости и сорбционная емкость, позволяет глубже понять взаимодействие между ураном и сорбентной поверхностью. Это, в свою очередь, дает возможность разработать более совершенные технологии очистки, снизить эксплуатационные затраты и повысить общую эффективность очистки шахтных вод. В научной и прикладной литературе подчеркивается, что именно комплексный подход, сочетающий экспериментальные исследования и теоретическое моделирование кинетических процессов, обеспечивает наиболее полное понимание поведения урана в природных и техногенных водных системах [1–5].

На объекте исследований месторождения Киик-Тала проводились комплексные работы по анализу физико-химических свойств и состава шахтной воды, что позволило получить достоверные данные о концентрациях урана и других сопутствующих загрязняющих веществ. Определе-

ние химического состава воды представляет собой ключевой этап в подготовке к проведению сорбционных исследований, так как именно состав водной матрицы существенно влияет на эффективность удаления целевых компонентов, включая радионуклиды.

В ходе анализа были зафиксированы значительные концентрации как урана, так и ионов металлов, таких как кальций, магний, железо, марганец, а также присутствие сульфатов, карбонатов и других анионов. Эти компоненты могут вступать в конкуренцию с ураном за активные центры на поверхности сорбента, изменять рН среды, образовывать комплексные соединения с ураном, а также влиять на его окислительно-восстановительное состояние. Таким образом, состав шахтной воды не только определяет исходную загрязненность, но и влияет на кинетику и механизмы сорбции.

Особое внимание уделялось влиянию ионов кальция и магния, поскольку они, находясь в значительных концентрациях, способны снижать эффективность сорбции за счёт конкурентного взаимодействия с функциональными группами сорбентов. Также ионы железа могут катализировать окислительно-восстановительные процессы, изменяя форму существования урана в растворе (например, переход между U(IV) и U(VI)), что напрямую влияет на его сорбируемость.

Полученные данные об основных ионов, уровне минерализации, кислотности и других параметрах воды позволяют более обоснованно подходить к выбору наиболее подходящих типов сорбентов - органических, неорганических, природных или модифицированных - и к оптимизации условий процесса (рН, время контакта, дозировка сорбента и др.). Таким образом, детальное изучение состава шахтной воды на этапе подготовки экспериментов служит важной предпосылкой для успешной реализации сорбционных

технологий очистки и минимизации риска вторичного загрязнения [6–9].

Целью данной работы является исследование процесса кинетики сорбции урана из шахтной воды месторождения Кийик-Тала. Основное внимание уделяется выявлению закономерностей протекания сорбционного процесса, определению его скорости, а также влиянию различных факторов на эффективность удаления урана из водной среды. Понимание кинетики сорбции необходимо для последующей оптимизации технологических параметров очистки, включая выбор типа сорбента, времени контакта, дозировки и условий проведения процесса (рН, температура, исходная концентрация урана и др.).

Для достижения поставленной цели применялись различные методы сорбции [9–11], охватывающие как статические, так и динамические режимы взаимодействия сорбента с загрязнённой водой. В

ходе экспериментов использовались различные типы сорбентов, различающиеся по происхождению, физико-химическим свойствам и механизму взаимодействия с ураном. Сравнительный анализ эффективности различных сорбентов, представленный в таблице 1, позволил определить наиболее перспективные материалы для применения в системах очистки шахтных вод.

Результаты экспериментальных исследований показали, что выбор сорбента оказывает существенное влияние на скорость и полноту извлечения урана. Некоторые материалы демонстрировали высокую сорбционную емкость уже в первые минуты контакта, тогда как другие требовали более длительного времени для достижения сорбционного равновесия. Это указывает на различия в механизмах сорбции - от ионного обмена до комплексообразования и физической адсорбции.

Таблица 1. Используемые иониты для сорбционного извлечения урана.

№ п/п	Марка сорбента	Структура	Компания изготовитель
1	АМ-п	Сильноосновной макропористый анионит	ГП «Смолы», Украина
2	Lewatit-DW-630	Макропористая	Lanxess, Германия
3	АМП	Сильноосновной гелевый анионит	ГП «Смолы», Украина

По кинетическим кривым (рис. 1) видно, что в первый час контакта сорбент Lewatit DW 630 продемонстрировал наибольшую скорость сорбции урана, при этом средняя статическая обменная емкость (СОЕ) составила 115,67 мг/г. В тот же период СОЕ для сорбента АМ-п оказалось значительно ниже, равной 49,05 мг/г, что свидетельствует о его меньшей эффективности в процессе сорбции. Для сорбента АМП СОЕ в первый час составила около 89 мг/г, что также ниже, чем у Lewatit DW 630.

На второй час контакта процесс сорбции урана продолжил развиваться, и

скорость сорбции у Lewatit DW 630 снова превзошла другие исследуемые сорбенты. СОЕ для этого сорбента увеличилась до 144,2 мг/г, что указывает на высокую эффективность и устойчивость сорбента в процессе сорбции. В это время СОЕ сорбентов АМ-п и АМП составили 132,75 мг/г и 89,55 мг/г соответственно, что на 11,45 и 54,65 мг/г ниже, чем у Lewatit DW 630. Это подтверждает, что Lewatit DW 630 обладает значительно лучшими сорбционными характеристиками по сравнению с другими исследованными сорбентами в процессе удаления урана из шахтной воды.

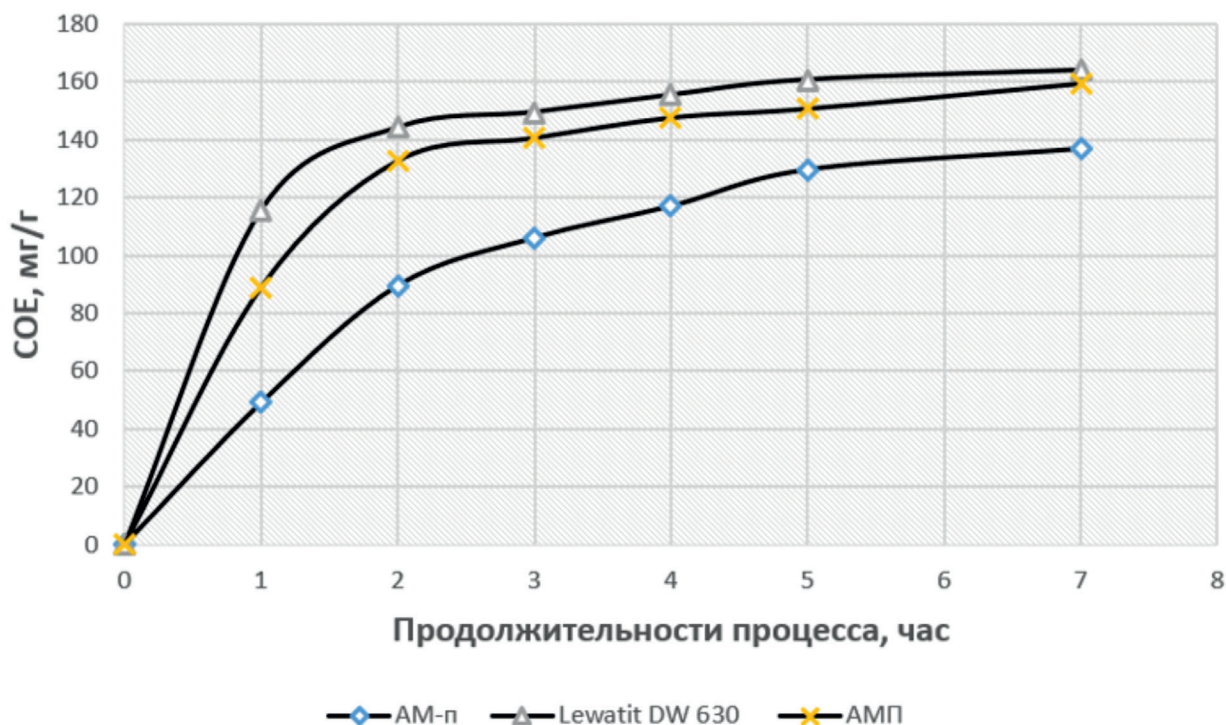


Рисунок 1. Кинетические кривые сорбции урана различными сорбентами.

Через три часа контакта сорбентов с исследуемой водой СОЕ для сорбента АМП значительно приближается к показателю сорбента Lewatit DW 630, уступая ему всего на 8,85 мг/г. Это говорит о том, что сорбент АМП проявляет улучшенные характеристики сорбции по мере увеличения времени контакта с водой и становится всё более эффективным в удалении урана. В то же время, СОЕ для сорбента АМ-п по-прежнему значительно ниже и уступает Lewatit DW 630 на 43,4 мг/г, что свидетельствует о его более низкой эффективности в процессе сорбции урана.

Далее, в ходе эксперимента, СОЕ сорбента АМП время от времени продолжает приближаться к результатам сорбента Lewatit DW 630. Разница в СОЕ между этими двумя сорбентами уменьшается и в какой-то момент достигает всего 4,6 мг/г, что указывает на постепенное улучшение сорбционных свойств АМП, однако оно всё ещё остаётся ниже по сравнению с Lewatit DW 630.

По окончании эксперимента, направленного на уточнение кинетических кри-

вых сорбции урана, было установлено, что сорбент Lewatit DW 630 продолжает демонстрировать наибольшую селективность, и его СОЕ составляет 164 мг/г. Это подтверждает высокую эффективность этого сорбента в процессе сорбции урана из шахтных вод. На втором месте по селективности стоит сорбент АМП с СОЕ, равной 159,4 мг/г, что также является довольно хорошим результатом, особенно если учесть, что его сорбционные характеристики улучшаются с течением времени. Наименьшая СОЕ была получена для сорбента АМ-п, которая составила 136,83 мг/г, что указывает на его сравнительно низкую эффективность по сравнению с двумя другими сорбентами.

Таким образом, результаты проведенного эксперимента свидетельствуют о том, что сорбент Lewatit DW 630 демонстрирует наивысшую эффективность среди всех исследованных материалов при удалении урана из шахтных вод уранового месторождения Киик-Тала. Его высокая сорбционная ёмкость, быстрая кинетика сорбции и устойчивость к воз-

действию ионов урана делают его наиболее перспективным кандидатом для практического применения в технологиях очистки загрязнённых горных вод. Стабильное удержание урана на сорбенте и достижение сорбционного равновесия за относительно короткое время также указывают на наличие сильных взаимодействий между ураном и активными группами материала.

Сорбент АМП занял второе место по эффективности, показав удовлетворительные результаты по извлечению урана, однако уступает Lewatit DW 630 по максимальной сорбционной ёмкости и скорости достижения равновесия. Тем не менее, с учётом доступности, потенциальной дешевизны и возможности химической или физической модификации, АМП представляет собой интересный объект для дальнейших исследований. Оптимизация его структуры или поверхностной функционализации может существенно повысить его сорбционные характеристики и расширить область применения.

В противоположность этому, сорбент АМ-п продемонстрировал наименьшую сорбционную способность по отношению к ионам урана, а также более медленную кинетику сорбции. Такие характеристики свидетельствуют о слабом взаимодействии урана с поверхностными активными центрами материала, что ограничивает его применимость в процессах очистки высоко загрязнённых вод. Ввиду низкой эффективности, использование АМ-п в качестве основного сорбента для извлечения урана из шахтных вод представляется малоперспективным без значительных модификаций его структуры или состава.

Таким образом, сравнительный анализ сорбционных свойств исследуемых материалов позволяет обоснованно рекомендовать Lewatit DW 630 как основной сорбент для практического внедрения в системы очистки шахтных вод уранового месторождения. Сорбент АМП может

рассматриваться как альтернативный вариант с потенциалом для совершенствования, тогда как использование АМ-п требует дополнительной доработки или замены более эффективными аналогами.

Литература

1. Исследование физико-химических показателей шахтной воды месторождения Киик-Тал / С.К. Ходжиев // Вестник педагогический университет. – Душанбе 2022. – №4 (16). – С.290-294.
2. Хакимов, Н. Извлечение урана из шахтных и технических вод отходов урановой промышленности /, И.У. Мирсаидов, Б.Б. Баротов, Х.М. Назаров // Доклады АН Республики Таджикистан. -2007. -Т.50. -№8. -С.703-706.
3. Мирсаидов, И.У. Физико-химические и технологические основы извлечения урана из шахтных и технических вод отходов урановой промышленности: автореф. дис. ... канд. техн. наук / И.У. Мирсаидов. – Душанбе, 2007. –23с.
4. Ходжиев, С.К. Исследование физико-химических показателей шахтной воды месторождения Киик-Тал / С.К. Ходжиев // Вестник педагогический университет. – Душанбе 2022. – №4 (16). –С.290-294.
5. Рахматов, Н.Н. Физико-химические основы получения урановых концентратов из супесчаных почв и шахтных вод: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.Н. Рахматов. – Душанбе, 2016. –22с.
6. Хакимов, Н. Очистка шахтных и дренажных вод от урана / Н. Хакимов, И.У. Мирсаидов, М.З. Ахмедов // Материалы республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии». – Душанбе, 2009. –С.238-239.
7. Физико-химическое состояние урана в шахтных урансодержащих вод и в супесчаных почв / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Ф.Дж. Саломов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. -2013. -Т.56. -№9. -С.725-729.
8. Сорбция ионов урана из шахтных и дренажных вод с помощью шишек арчи в динамическом режиме / Н.Н. Рахматов, Х.М. Назаров, И.У. Мирсаидов [и др.] // Известия АН Республики Таджикистан. -2014. -№3(156). -С.64-69.
9. Ходжиев, С.К. Исследование сорбции урана из шахтной воды месторождения Киик-Тал в статических условиях / Юнусов М.М., Хочиён М.К., Ходжиев С.К. // Сборник статей XIV Международного научного форума «Перспективные задачи инженерной науки» (Россия, Москва, 17 мая 2023 года). Международная инженерная академия. М: ООО «Инженерный

- центр «Импульс», РГУ им. А.Н. Косыгина, 2023. –С.241-247.
10. Ходжиев, С.К. Исследование сорбции урана из шахтных вод уранового месторождения Киик-Тала в динамических условиях / С.К. Ходжиев // Вестник педагогический универси-тет. –Душанбе 2023. -№4 (20). –С.120-122.
11. Ходжизода, С.К. Технологии получения концентрата урана из воды штольни №6 уранового месторождения Табошар / С.К. Ходжизода // Водные ресурсы, энергетика и экология. –2025. -Том 5. -№2. –С.93-98.

КИНЕТИКАИ СОРБСИЯИ УРАН АЗ ОБИ ШАХТАВИИ КОНИ КИИК-ТАЛ БО СОРБЕНТҲОИ МУХТАЛИФ

Хочизода С.Қ.^{1,*}

¹Донишқадаи кӯҳию металлургии Тоҷикистон

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

Шарҳи мухтасар. Таҳқиқоти мазкур натиҷаҳои таҳлили кинетикии раванди сорбсияи уран аз обҳои шахтавӣ бо истифода аз сорбентҳои мухталиф пешниҳод карда мешавад. Дар таҷриба самаранокии якчанд намуди сорбентҳо барои сорбсия кардани уран баҳо дода шуд, то ки сорбенти беҳтарин барои раванд муайян карда шавад. Бо истифода аз маълумоти таҷрибавӣ графике сохта шуд, ки вобастагии қачи кинетикии сорбсияи уранро нишон медиҳад. Дар асоси маълумоти бадастомада баҳодиҳии муқоисавӣ гузаронида шуд, ки дар рафти он сорбенте, ки дар раванди сорбсия натиҷаҳои беҳтарини нишон медиҳад, интихоб карда шуд. Муқаррар карда шудааст, ки сорбенти беҳтарини барои тоза кардани уран аз обҳои шахтавӣ Lewatit-DW-630 мебошад.

Калидвожаҳо: оби шахтавӣ, сорбент, сорбсия, уран, кинетикаи раванди сорбсия.

KINETICS OF URANIUM SORPTION FROM MINE WATER OF THE KIİK-TAL DEPOSIT WITH VARIOUS SORBENTS

Hojizoda S.Q.^{1,*}

¹Mining and Metallurgical Institute of Tajikistan

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

Abstract. This study presents the results of kinetic analysis of the uranium sorption process from mine waters using various sorbents. During the experiment, the efficiency of several types of sorbents for uranium removal was assessed in order to identify the best sorbent for this process. Using the experimental data, a graph was constructed showing the dependence of the kinetic curves of uranium sorption. Based on the data obtained, a comparative assessment was carried out, during which the sorbent demonstrating the best results in the sorption process was selected. It was found that the best sorbent for uranium removal from mine waters is Lewatit-DW-630.

Key words: mine water, sorbent, sorption, uranium, sorption process kinetics.

Сведения об авторе: Ходжизода Саидмукбил Косим, кандидат технических наук, заведующий кафедрой Естественнонаучных дисциплин Горно-металлургического института Таджикистана, тел.: (+992)92-732-08-41, E-mail: saidmukbil@mail.ru;

Маълумот дар бораи муаллиф: Ходжизода Саидмукбил Қосим, номзади илмҳои техникӣ, мудири кафедраи фанҳои табиӣ-илмӣи Донишқадаи кӯҳию металлургии Тоҷикистон, тел.: (+992)92-732-08-41, E-mail: saidmukbil@mail.ru;

Information about the authors: Hojizoda Saidmukbil Qosim, Candidate of Technical Sciences, Head of Natural sciences chair of Mining-Metallurgical Institute of Tajikistan, tel.: (+992)92-732-08-41, E-mail: saidmukbil@mail.ru.

БУНЁДИ ШАБАКАҲОИ ТАКЯҒОҲИИ ПЛАНӢ БО ИСТИФОДАИ ТАҶҲИЗОТҲОИ GNSS

Оев О.Т.^{1*}, Ядгоров Ё.Х.¹, Махмудов М.Ю.¹

¹Институты геология, сохтмони ба заминҷунбӣ тободар ва сейсмология Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

*Муаллифи масъул. E-mail: ooeyev58@mail.ru

Шарҳи мухтасар. Бунёди шабакаҳои геодезӣ дар маҳал барои иҷрои корҳои саҳроии геодезӣ масъалаи асосии соҳа ба ҳисоб меравад. Аз ҳамин лиҳоз аз саҳеҳнокии бунёди онҳо дар маҳал, иҷроиши корҳои тақсимоӣ, сохтмони иншоотҳои истеҳсолию шаҳрвандӣ ва гузаронидани мониторинги муҳандисию геодезӣ нурра вобаста аст. Дар мақолаи мазкур тартиби бунёди шабакаҳои такяғоҳии планӣ бо истифодаи таҷҳизотҳои GNSS маълумот дода шудааст. Инчунин тартиби гузаронидани корҳои саҳроии геодезӣ, коркарди маводҳои саҳроӣ бо истифодаи барномаи махсуси геодезӣ, саҳеҳнокии иҷроиши корҳои саҳроӣ ва камералӣ оварда шудааст. Корҳои саҳроӣ дар минтақаи НБО “Норак” гузаронида шудааст. Дар мақолаи мазкур натиҷаи муқоисаи маълумоти ба даст омада бо муқоиса бо коркарди анъанавӣ нишон дода шуда хатогиҳои натиҷаи он низ оварда шудааст. Барои гузаронидани ченкуниҳо дар маҳал нақшаи ҷойгиршавии аломат ва нишонаҳои геодези дар маҳал мустақкам гардида оварда шудаанд.

Калидвожаҳо: шабакаи геодезӣ, шабакаи такяғоҳии планӣ, GNSS – ченкуниҳо (таҷҳизотҳои GNSS), пунктҳои геодезӣ, системаи координатаҳои геодезӣ, режими “статика” (ҳолати статикӣ), пункти базавӣ (пункти таҳкурсии), системаи маҳаллии геодезӣ (системаи координатаҳои маҳаллӣ).

Введение

Барои муайян намудани мавқеи ҷойгиршавии шабакаи такяғоҳии планӣ, параметрҳои трансформатсионии системаи координатаҳо аз системаи WGS-1984 гузариш ба системаи маҳаллӣ ченкуниҳо бо роҳи таҷҳизотҳои GNSS [4] дар режими “статика” (ҳолати статикӣ) гузаронида мешавад. Бо ин мақсад дар маҳал пунктҳои ибтидоии базавӣ барои гузаронидани ченкунӣ ба воситаи LEICA GS25 ва антеннаи LEICA AS10 [1] пунктҳои P2 ва P5 сохта шудаанд, ки онҳо дар давоми ченкунӣ бо таҷҳизотҳои номбурда пунктҳои асосӣ ба ҳисоб рафта нисбати онҳо мавқеи пунктҳои боқимондаи назоратӣ муайян карда шуданд [2].

Фосилаи гузаронидани ченкуниҳо дар пунктҳои базавӣ (пункти таҳкурсии) мувофиқи талаботи дастурҳои истеҳсоли 7 соатро дарбар мегирад [8]. Дар пунктҳои боқимондаи назоратӣ (P1, P3, P4, P6, P11, P13, P15, PS1 ва PS2) ин фосила 2 буда он ҳамагӣ 9 соатро ташкил медиҳад.

Дар асоси таҳлили натиҷаҳои ченкуниҳои гузаронидашуда пешниҳод карда

мешавад, ки давраҳои минбаъдаи назоратӣ ҳолати ҷойгиршавии пунктҳо ва аломатҳои геодезӣ, шабакаи такяғоҳии планӣ ба воситаи GNSS таҷҳизотҳо, муддати вақти ченкунӣ кӯтоҳ карда шуда аз системаи маҳаллӣ истифода бурда шавад. Баъд аз гузаронидани ҳар як даври ченкунӣ файли он иваз карда шуда ченкуниҳои оянда бо файли нав иҷро карда шавад. Ҳамаи ченкуниҳои иҷро гардида ба воситаи мавҷқабулкунаки маҳворагии (радифии) LEICA GS25 ва антеннаи LEICA AS10 [1] мувофиқи талабот [4] иҷро карда шудаанд.

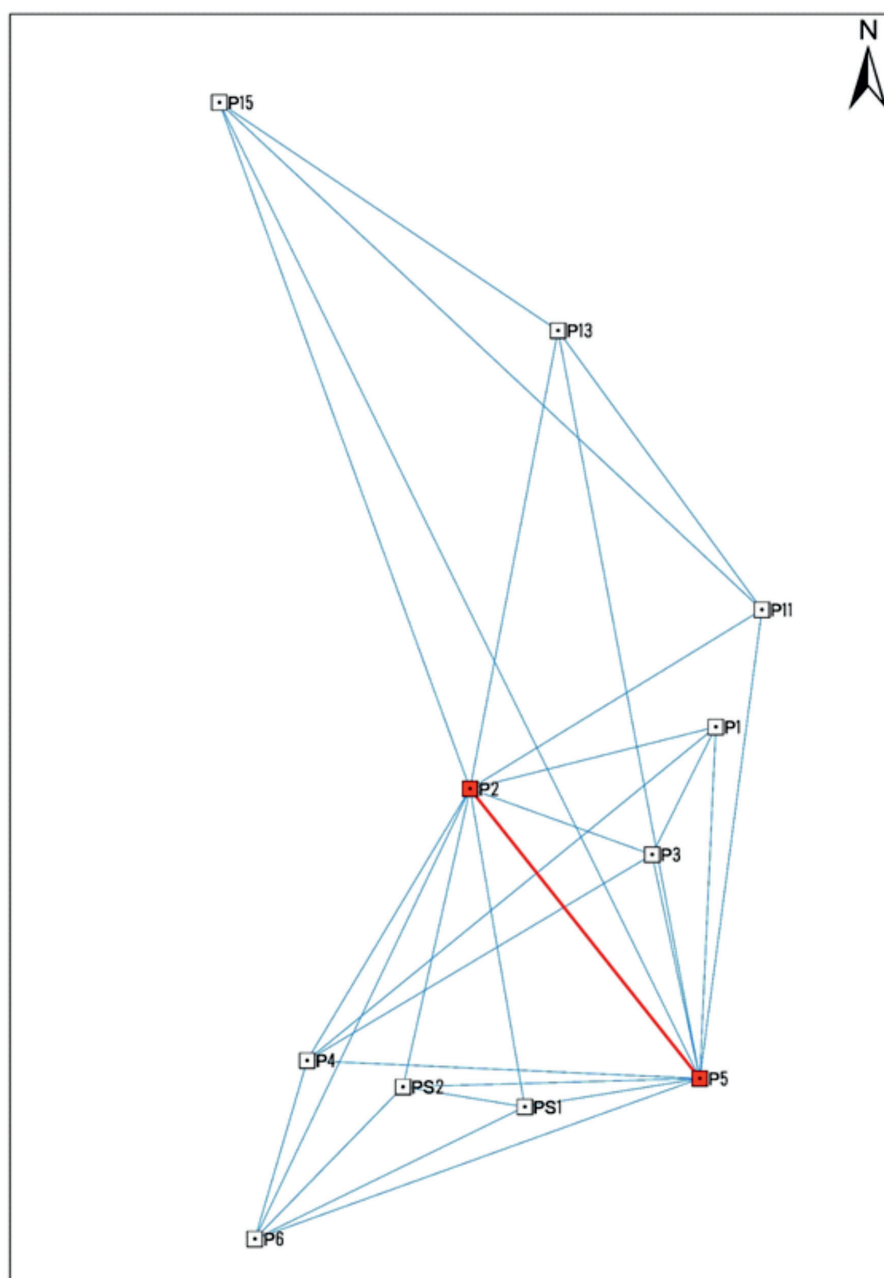
Коркарди маводҳои саҳроӣ ва баробаркунии натиҷаи он бо истифодаи таҷҳизотҳои GNSS дар системаи WGS-1984 ва проексияи UTM-42N барои дарёфти параметрҳои трансформатсияи гузариш аз системаи WGS-1984 ба системаи маҳаллӣ иҷро карда шуданд. Бо ин мақсад дар равзанаи алоҳидаи барномаи Leica Infinity [9] файлҳои ченкуниҳои саҳроиро ворид намуда сипас коркард карда мешаванд.

Бо истифодаи стансияи базавии «DUSH» координатаҳои маълуми он дар

системаи СК WGS-1984 векторҳои тағйирёбӣ ҳисоб карда шуда баъдан координатаҳои шабакаҳои пунктҳои таъягоҳии планӣ [2] дар системаи СК WGS-1984 ҳисоб карда шуданд. Координатаҳои ҳисобшудаи пунктҳои таъягоҳии планӣ бо модули «One Step Transformation» муқоиса карда шуда координатаҳои пунктҳои геодезӣ дар системаи маҳаллӣ ҳисоб шуданд.

Барои ҳисоб кардани координатаҳои пунктҳои боқимонда усули дар боло зикр гардида истифода бурда шуда онҳо дар

ҳамгироии GNSS ченкунӣ аз пунктҳои P2, P5, P11, P13 ва P15 ва ченкуниҳо ба воситаи тахеометри электронӣ TS60 i (05") аз пунктҳои P1, P2, P3, P4, P5, PS1 и PS2-и шабакаи таъягоҳии планию-баландӣ [10] дар якҷоягӣ бо барномаи Leica Infinity бо истифодаи модули 3D Adjustment [9] иҷро карда шуданд (расми 1). Чунин шакли коркарди маводҳо дар барномаҳои номбурда бо истифодаи технологияи муосир шабоҳат медиҳанд.



Расми 1. Нақшаи шабакаи планӣ дар минтақа.

Баробаркунии шабакаҳои тақягоҳии планӣ-баландии геодезӣ дар минтақаи ҷойгиршавии шабакаи геодезӣ дар системаи маҳаллӣ ва системаи баландии баҳри

Балтика сатҳи геоид EGM 2008 [5] барои ҳисоби баландии ортометрии пунктҳои геодезӣ истифода бурда шуданд (расми 2).



Расми 2. Нақшаи умумии ҷойгиршавии шабакаи пунктҳои тақягоҳии геодезии минтақа.

Ба сифати пунктҳои ибтидоӣ доир ба муайян кардани натиҷаи ченкунии дақиқи таҷҳизотҳои GNSS, координатаҳои пунктҳои P2 ва P5 мувофиқи талаботи иҷроӣ корҳои геодезӣ муайян карда мешаванд, ки мавқеи онҳо дар системаи ягона муайян мебошанд ба барномаи коркард ворид намуда параметрҳои асосии гузариш ба системаи координатаи маҳаллӣ ҳисоб карда мешавад.

Истифодаи параметрҳои зикргардида оиди гузаронидани ченкунии саҳроӣ дар шабакаҳои пунктҳои таъямоҳии плани минтақа, коркарди маводҳои саҳроӣ иҷро карда шуда дар натиҷаи он, қиммати хатогиҳои алоҳидаи пайдошуда ва дар

умум хатогии миёнаи квадрати мавқеи ҷойгиршавии пунктҳои таъямоҳии плани [7] ҳисоб карда шуданд, ки онҳо дорои чунин нишондиҳандаҳо мебошад (ҷадвали 1).

Натиҷаи ҳисоботҳои гузаронидашуда дар муқоиса бо талаботи “Низомномаҳои оид ба иҷроӣ корҳои геодезӣ дар маҳал” [6] аз он шабоҳат медиҳад, ки корҳои саҳроӣ иҷро гардида барои ҳисоб кардани мавқеи ҷойгиршавии пунктҳои таъямоҳии плани минтақа бо истифодаи асбобҳои муосири ҳозиразамон, коркарди онҳо дар барномаи махсуси Leica Infinity [9] сифати хуб доранд.

Ҷадвали 1. Натиҷаи ҳисоботи хатогиҳои ченкунии саҳроӣ.

№ т/р	Номгуи пунктҳо	Хатогиҳои ҳисобшуда, м			Хатогии миёнаи квадрати натиҷавӣ (ХМК), м
		М _x	М _y	М _n	
1	P1	0,0079	0,0071	0,0035	0,0106
2	P2	Пункти ибтидоӣ			
3	P3	0,0033	0,0029	0,0016	0,0044
4	P4	0,0048	0,0046	0,0014	0,0066
5	P5	Пункти ибтидоӣ			
6	P6	0,0077	0,0073	0,0024	0,0106
7	P11	0,0068	0,0050	0,0046	0,0084
8	P13	0,0056	0,0045	0,0033	0,0072
9	P15	0,0057	0,0045	0,0035	0,0073
10	PS1	0,0032	0,0028	0,0015	0,0042
11	PS2	0,0042	0,0038	0,0016	0,0057

Инчунин бо истифодаи асбоб ва таҷҳизотҳо бо усули зикргардида мониторинги [6] марқаҳои назоратии геодезии минтақа гузаронида шуда натиҷаҳои он коркард шуданд. Коркарди маводҳои саҳроӣ ин ченкуниҳо дар якҷоягии модули 3D Adjustment ПО бо барномаи Leica Infinity иҷро гардиданд [9]. Марқаҳои геодезии дар ин минтақа ҷойгир карда шударо барои назорати мунтазами ҳолати иншооти мазкур истифода бурда фосилаи гузаронидани мониторинги

геодезӣ дар давоми истифодабарии иншоот муайян карда шудааст. Натиҷаҳои корҳои саҳроӣ ва камералии иҷро гардида оиди ҳолат ва тағйирёбии иншоот маълумот медиҳад. Баҳо додан ба сифати иҷроии корҳои назоратии геодезӣ дар иншоот бо истифодаи таҷҳизотҳои муосир корҳои саҳроӣ ва камералӣ гузаронида шуда, натиҷаи он бо маълумотҳои истеҳсоли муқоиса карда шуданд, ки онҳо дорои нишондиҳандаҳои зерин мебошанд (ҷадвали 2).

Чадвали 2. Муқоисаи натиҷаи мониторинги нишонаҳои геодезӣ.

№ т/р	Номгӯи нишонаҳо	Хатогиҳои ҳисобшуда, м			Хатогии миёнаи квадратӣ, м
		М _x	М _y	М _n	
1	B1 M4	-0,0112	-0,0032	-0,0133	0,0116
2	B1 M5	-0,0103	-0,0005	-0,0123	0,0103
3	B1 M6	-0,0081	0,0018	-0,0099	0,0083
4	B2 M3	-0,0037	0,0036	-0,0238	0,0052
5	B2 M4	-0,0028	0,0067	-0,0240	0,0073
6	B2 M5	-0,0016	0,0071	-0,0237	0,0073
7	B2 M6	-0,0004	0,0035	-0,0242	0,0035
8	B2 M7	-0,0014	0,0060	-0,0245	0,0062
9	B3 M3	-0,0046	0,0031	-0,0166	0,0055
10	B3 M5	-0,0029	0,0064	-0,0172	0,0070
11	B3 M7	0,0001	0,0028	-0,0160	0,0028
12	B4 M0	-0,0093	0,0027	-0,0099	0,0097
13	B4 M1	-0,0049	0,0024	-0,0096	0,0054
14	B4 M2	-0,0053	0,0022	-0,0100	0,0057
15	B4 M3	-0,0068	0,0020	-0,0110	0,0070
16	B4 M4	-0,0059	0,0024	-0,0111	0,0064
17	B4 M5	0,0008	0,0067	-0,0188	0,0067
18	B4 M6	-0,0053	0,0011	-0,0127	0,0054
19	B4 M7	-0,0064	-0,0009	-0,0142	0,0065
20	B4 M8	-0,0001	0,0040	-0,0091	0,0040
21	B5 M0	0,0035	0,0027	-0,0075	0,0044
22	B5 M1	0,0040	0,0021	-0,0119	0,0045
23	B5 M2	0,0023	0,0041	-0,0094	0,0047
25	B5 M4	0,0033	0,0036	-0,0088	0,0049
26	B5 M5	0,0030	0,0027	-0,0054	0,0040
27	B5 M6	0,0021	0,0030	-0,0066	0,0037
28	B5 M7	0,0008	0,0029	-0,0063	0,0030
29	B5 M8	0,000	0,0011	-0,0064	0,0011
30	B5 M9	0,0013	0,0029	-0,0064	0,0032

Хулоса

1. Ҳангоми гузаронидани корҳои сахроӣ бо истифодаи таҷҳизотҳои GNSS гарчанде, ки фосилаи ченкуниҳо дар пунктҳои асосӣ зиёд бошад ҳам натиҷаи ба даст омада ба талаботи “Низомномаҳои ба иҷрои корҳои муҳандисии геодезӣ” пурра ҷавобгӯӣ мебошад.

2. Барои кам кардани вақти ченкуниҳо аз таҳлили гузаронида шуда бармеояд, ки барои пунктҳо ва нишонаҳои геодезӣ минбаъд системаи координатаҳои маҳаллиро истифода намоём.

3. Натиҷаи коркарди камералии маводҳои сахроии геодезӣ дар барномаи махсус иҷро карда шуда бо мувофиқаи нишондиҳандаҳои соҳавӣ натиҷаҳои хубро нишон дод, ки он дар чадвали муқоисавӣ оварда шудааст.

4. Саҳеҳнокии иҷроиши корҳои сахроӣ ва маълумотҳои камералии ба даст омада аз он гувоҳӣ медиҳад, ки дар шароити баландкӯҳи Ҷумҳурии барои бунёди шабакаҳои геодезии таъиноташон гуногун истифодаи таҷҳизотҳои GNSS қобили қабул мебошад.

5. Таҳлил ва ҳулосаҳои дар мақола овардашуда барои иҷрои корҳои муҳандисӣ-геодезӣ дар маҳал, гузаронидани корҳои тақсимоии сохтмони иншоотҳо ва иҷрои корҳои саҳроию камералӣ дар соҳаҳои гуногун, баланд бардоштани саҳеҳнокии иҷроиши онҳо ба сифати асоси назариявӣ амалӣ хизмат карда метавонад.

Адабиётҳо

1. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. М.: Наука.- 2006-360 с.
2. ГОСТР 55024-2012. Сети геодезические. Общие технические требования.-М.: 2014.-11 с.
3. ГКИНП 02.262.02.2002. инструкция по развитию съемочного обоснования с применением ГЛОНАСС и GPS. М.: ЦНИИГАиК,-2002.-56 с.
4. Инструкция используемых приборов - GPS приемника, тахеометра и цифрового нивелира. М.: 2004, ООО "А ГЕО" – 148 с.
5. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М.: 2004, «Недра» - 231 с.
6. Основные положения по геодезическим работам на геофизических (геодинамических) полигонах в сейсмических районах страны. М.: 2000, ЦНИИГАиК – 176 с.
7. Правила по технике безопасности на топографо-геодезических работах /ПТБ 88/. М.: 1991, «Недра» - 136с.
8. Руководство по натурным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами. М.: 1990, «Энергия» - 201 с.
9. Программное обеспечение для GNSS наблюдений. М.: 2020, EFT GROUP.
10. Справочник геодезиста (триангуляция). Том 1. М.: «Недра» - с. 390-394.

СОЗДАНИЕ ПЛАНОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ GNSS ОБОРУДОВАНИЯ

Оев О.Т.^{1,*}, Ядгоров Ё.Х.¹, Махмудов М.Ю.¹

¹Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана

*Автор корреспонденции. E-mail: ooev58@mail.ru

Аннотация: Основоположающим вопросом геодезии для проведения полевых работ считается создание геодезических сетей на участке. В связи с этим от точности их строительства на местности зависит точности разбивочных работ, строительства промышленных и гражданских объектов, инженерно-геодезического контроля состояния сооружения. В данной статье описывается способ и порядок построения плановых опорных сетей с использованием GNSS-измерений. Также представлены порядок проведения полевых геодезических работ, порядок обработки полевых материалов с помощью специальной геодезической программы, точность полевых и камеральных работ. Полевые работы проводились на территории Нурекской ГЭС. В данной статье приведены результаты сравнения полученных данных со сравнением с традиционной обработкой, а также вычислены ошибки результатов выполненных работ. Для проведения полевых измерений на местности представлены планы заложения и расположения геодезических пунктов и знаков.

Ключевые слова: геодезическая сеть, плановая геодезическая сеть, GNSS – измерения, геодезические пункты, геодезическая система координат, режим "статика".

ESTABLISHING OF A PLANNED GEODETIC BASIS USING GNSS EQUIPMENT

Oev O.T.^{1,*}, Yadgorov Y.Kh.¹, Makhmudov M.Yu.¹

¹Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of National Academy of Sciences of Tajikistan

*Муаллифи масъул. E-mail: ooev58@mail.ru

Abstract. The fundamental issue of geodesy for field work is the creation of geodetic networks on site. In this regard, the accuracy of these networks, construction of industrial and civil facilities, engineering and geodetic control of the condition of the structure directly influences the accuracy of their construction on the ground. This article

describes the method and procedure for constructing planned reference networks using GNSS measurements. The procedure for conducting field geodetic work, the procedure for processing field materials using a special geodetic program, and the accuracy of field and office work are also presented. Field work was carried out on the territory of the Nurek Hydroelectric Power Station. This article presents the results of a comparison of the obtained data with traditional processing, and also calculates the errors in the results of the work performed. To carry out field measurements on the ground, plans for the construction and location of survey points and markers are presented.

Key words: *geodetic network, planned geodetic network, GNSS – measurements, geodetic points, geodetic coordinate system, “static” mode, base points, local geodetic coordinate system, radio receiver, transformation parameters, point coordinates, altitude geodetic system, calculation and adjustment of coordinates.*

Маълумот онд ба муаллифон: Оев Оймахмад Туевич - Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Ходими калони илмии лабораторияи зилзилатобоварии иншоотҳои гидротехникӣ. Суроға: 734063. Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, к. Айнӣ, 267. Тел.: (+992) 902-08-19-58. E-mail: ooyev58@mail.ru. Ядгоров Ёдгор Хуршедович - Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Мудири лабораторияи зилзилатобоварии иншоотҳои гидротехникӣ, номзади илмҳои техникӣ. Суроға: 734063. Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, к. Айнӣ, 267. Тел.: (+992) 918-72-62-80. E-mail: yodgor1990@inbox.ru. Маҳмудов Маҳмуд Юсуфович - Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Ходими илмии лабораторияи зилзилатобоварии иншоотҳои гидротехникӣ. Суроға: 734063. Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, к. Айнӣ, 267. Тел.: (+992) 918-47-20-40. E-mail: mahmudov_90@mail.ru

Сведения об авторах: Оев Оймахмад Туевич - Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана. Старший научный сотрудник лаборатории сейсмостойкости гидротехнических сооружений. Адрес: 734063. Республика Таджикистан, г. Душанбе, улица Айна, 267. Тел.: (+992) 902-08-19-58. E-mail: ooyev58@mail.ru; Ядгоров Ёдгор Хуршедович - Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана. Заведующий лабораторией сейсмостойкости гидротехнических сооружений, кандидат технических наук. Адрес: 734063. Республика Таджикистан, г. Душанбе, улица Айна, 267. Тел.: (+992) 918-72-62-80. E-mail: yodgor1990@inbox.ru; Маҳмудов Маҳмуд Юсуфович - Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана. Научный сотрудник лаборатории сейсмостойкости гидротехнических сооружений. Адрес: 734063. Республика Таджикистан, г. Душанбе, улица Айна, 267. Тел.: (+992) 918-47-20-40. E-mail: mahmudov_90@mail.ru.

Information about the authors: Oev Oimakhmad Tuevich - Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of National Academy of Sciences of Tajikistan. Senior researcher of the Hydraulic Structures Seismic Resistance Department. Address: 734063. Republic of Tajikistan, City of Dushanbe, Ayni Street, 267. Phone: (+992) 902-08-19-58. E-mail: ooyev58@mail.ru; Yadgorov Yodgor Khurshedovich - Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of National Academy of Sciences of Tajikistan. The head of the Hydraulic Structures Seismic Resistance Department, candidate of technical science. Address: 734063. Republic of Tajikistan, City of Dushanbe, Ayni Street, 267. Phone: (+992) 918-72-62-80. E-mail: yodgor1990@inbox.ru; Makhmudov Makhmud Yusufovich - Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of National Academy of Sciences of Tajikistan. Scientific researcher of the Hydraulic Structures Seismic Resistance Department. Address: 734063. Republic of Tajikistan, City of Dushanbe, Ayni Street, 267. Phone: (+992) 918-47-20-40. E-mail: mahmudov_90@mail.ru

ҚОИДАҲО БАРОИ МУАЛЛИФОНИ

Маҷаллаи илмӣ «Захираҳои об, энергетика ва экология»-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Мақолаҳои илмӣ, ки барои нашр ба маҷалла пешниҳод мегарданд, бояд ба талаботи зерин ҷавобгӯ бошанд: а) мақолаи илмӣ бояд бо назардошти талаботи муқаррарнамудаи маҷалла омода гардида бошад; б) мақола бояд натиҷаи тадқиқоти илмӣ бошад; в) мавзӯи мақола бояд ба яке аз самтҳои илмӣ маҷалла мувофиқат 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. Постаи электронии муаллифи масъул;
6. Шарҳи мухтасар (I - Хулосаи мухтасари мазмуни мақола (100–250 калима); II - Ҳадаф, усулҳо, натиҷаҳои асосӣ ва хулосаҳои нишон медиҳад; III - Бо услуби кӯтоҳ ва иттилоотӣ навишта мешавад);
7. Калидвожаҳо (I - 4–8 калима ё иборае, ки муҳтавои асосии мақоларо инъикос мекунад; II - Барои ҷустуҷӯ дар пойгоҳҳои додаҳои истифода мешаванд);
8. Муқаддима (I - Аҳамият ва зарурати мавзӯро асоснок мекунад; II - Масъалаи илмиро баён мекунад; III - Шарҳи адабиёт (таҳқиқоти қаблӣ); IV - Ҳадаф ва вазифаҳои тадқиқот; V - Гипотеза (агар бошад); V - Шарҳи кӯтоҳи усулҳои истифодашуда;
9. Мавод ва усулҳо (I - Тавсифи муфассали усулҳо, таҷҳизот ва равишҳои истифодашуда; II - Тадқиқоти таҷрибавӣ ё назариявиро шарҳ медиҳад; III - Бояд имкони такрор кардани тадқиқотро фароҳам оварад);
10. Натиҷаҳо (I - Пешниҳоди маълумоти бадастомада; II - Аксаран бо ҷадвалҳо, графикҳо ва расмҳо ҳамроҳӣ мешавад; III - Тавсифи мешавад, бе тафсири амиқ);
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 номгӯӣ ва на бештар аз 20 номгӯӣ 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 (муаллифони) 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 - Всеисточники, 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.