

МУАССИСАИ ДАВЛАТИИ ИЛМИИ  
«МАРКАЗИ ОМЎЗИШИ ПИРЯХХОИ  
АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОЧИКИСТОН»



КРИОСФЕРА  
CRYOSPHERE

№ 2 (6) 2022

Душанбе  
2022



## КРИОСФЕРА

Муассиси маҷалла:

# МУАССИСАИ ДАВЛАТИИ ИЛМИИ «МАРКАЗИ ОМӮЗИШИ ПИРЯХҲОИ АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОЧИКИСТОН»

Маҷаллаи илмӣ-назариявии “Криосфера” соли 2021 таъсис ёфта, дар давоми як сол ҷаҳор шумора нашр мешавад. Маҷалла таҳти №194/МҶ аз 15 марта соли 2021 дар Вазорати фарҳанги Ҷумҳурии Тоҷикистон ба қайд гирифта шудааст.

**Сармуҳаррир:** Абдулҳамид ҚАЮМОВ – академики Академияи байналмилалӣ оид ба бехатарии ҳаёт, академики Академияи муҳандисии Ҷумҳурии Тоҷикистон, профессор

**Муовини сармуҳаррир:** Алишо ШОМАҲМАДОВ –номзади илмҳои физикаю математика

### Ҳайати таҳририя:

Абдуфаттоҳ РАҲИМОВ – доктори илмҳои география, профессор;  
Холназар МУҲАББАТОВ – доктори илмҳои география, профессор;  
Уктам МУРТАЗОЕВ – доктори илмҳои география, профессор;  
Садириддин АБДУРАҲИМОВ – доктори илмҳои геологияю минерология;  
Сабур АБДУЛЛОЕВ –доктори илмҳои физикаю математика;  
Ахрорҷон ҚАЛАНДАРОВ – номзади илмҳои география;  
Амриддин САМИЕВ – номзади илмҳои география;  
Муборакшо ТАБАРУКОВ – номзади илмҳои география.

### Ҳайати таҳририяи байналмилалӣ:

Мартин ҲОУЛЗЛ – профессор (Швейтсария);  
Майкл ЗЕМП – профессор (Швейтсария);  
Франческа ПЕЛЛИКСИОТТИ –профессор (Швейтсария);  
Владимир КОНОВАЛОВ – профессор (Москва);  
Шичанг КАНГ – профессор (Хитой);  
Кристинэ ТОВМАСЯН – доктор Phd (Қазоқистон);  
Эван МАЙЛЗ –доктор Phd (ИМА);  
Александр ЕГОРОВ –доктор Phd (Қазоқистон);  
Дмитрий ПЕТРАКОВ – доктор Phd (Москва);  
Томас САКС – доктор Phd (Швейтсария).

## МУНДАРИЧА

1. **А. Қ. Қаюмов, А. М. Шомаҳмадов, М. Т. Сафаров.** Алоқамандии параметрҳои метеорологӣ бо речай гидрологии ҳавзаҳои дарёҳои Тоҷикистон дар давраи вегетатсионии солҳои 2018 - 2021..... 8-27
2. **А. Қ. Қаюмов, М. К. Абдуллоева, Д. А. Қаюмова, С.Ф. Абдуллозода.** Тағйирёбии иқлим дар атмосфераи пиряхи Федченко дар давраи солҳои 1982 - 2021..... 28-46
3. **А. Қ. Қаюмов, М. Ш. Давлатова, Х. Саидзода.** Ҳолати пиряҳҳои ҳавзаи дарёи Ванҷ дар шароити тағйирёбии иқлим..... 47-56
4. **А. Қ. Қаюмов, М. Ҳ. Муродов.** Истифодабарии усулҳои моҳворагӣ барои назорати вазъияти пиряҳҳои коҳишёбанда дар ҳавзаи дарёи Ванҷ..... 58-75
5. **А. Қ. Қаюмов.** Мониторинги пиряхи Дидал бо истифодаи ҳавопаймои бесарнишин..... 76-85
6. **А. Қ. Қаюмов.** Кандашавии кӯлҳои пиряхи Баралмос..... 86-99



ISSN 2789-8326

## КРИОСФЕРА

Учредитель журнала:

# ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ЦЕНТР ИЗУЧЕНИЯ ЛЕДНИКОВ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК ТАДЖИКИСТАНА»

Научно-теоретический журнал «Криосфера» основан в 2021 году и выходит четыре номера в год. Журнал зарегистрирован под №194/МЧ с 15 марта 2021 года в Министерстве культуры Республики Таджикистан.

**Главный редактор:** Абдулхамид КАЮМОВ - академик Международной академии безопасности жизнедеятельности, академик Инженерной академии Республики Таджикистан, профессор

**Заместитель главного редактора:** Алишо ШОМАХМАДОВ – кандидат физико-математических наук.

### Редакционная коллегия:

Абдуфаттох РАХИМОВ - доктор географических наук, профессор;  
Холназар МУХАББАТОВ - доктор географических наук, профессор;  
Уктам МУРТАЗОЕВ - доктор географических наук, профессор;  
Садирiddин АБДУРАХИМОВ - доктор геолого-минерологических наук;  
Сабур АБДУЛЛОЕВ - доктор физико-математических наук;  
Ахороджон КАЛАНДАРОВ - кандидат географических наук;  
Амридин САМИЕВ - кандидат географических наук;  
Муборакшо ТАБАРУКОВ - кандидат экономических наук.

### Международный редакционный совет:

Мартин ХЕЛЬЦЛЕ - профессор (Швейцария);  
Майкл ЗЕМП - профессор (Швейцария);  
Франческа ПЕЛЛИКСИОТТИ - профессор (Швейцария);  
Владимир КОНОВАЛОВ - профессор (Москва);  
Шичанг КАНГ – профессор (Китай);  
Кристинэ ТОВМАСЯН - доктор Phd (Казахстан);  
Эван МАЙЛЗ - доктор Phd (США);  
Александр ЕГОРОВ - доктор Phd (Казахстан);  
Дмитрий ПЕТРАКОВ - доктор Phd (Москва);  
Томас САКС - доктор Phd (Швейцария).

© Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана», 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

1. А. К. Каюмов, А. М. Шомахмадов, М. Т. Сафаров. Связь метеорологических параметров с гидрологическим режимом бассейнов рек Таджикистана за вегетационный период 2018-2021 гг.....	8-27
2. А. К. Каюмов, М. К. Абдуллоева, Д. А. Каюмова, С. Ф. Абдуллозода. Климатические изменения над атмосферой ледника Федченко в период 1982-2021гг. ....	28-46
3. А. К. Каюмов, М. Ш. Давлятова, Х. Саидзода. Состояние ледников бассейна реки Вандж в условиях изменения климата.....	47-57
4. А. К. Каюмов, М. Х. Муродов. Использование методов дистанционного зондирования для мониторинга состояния пульсирующих ледников бассейна реки Ванч.....	58-75
5. А. К. Каюмов. Мониторинг ледника Дидалъ с использованием беспилотного летательного аппарата.....	76-85
6. А. К. Каюмов. Прорыв ледниковых озер на леднике Баралмас.....	86-99



ISSN 2789-8326

## CRYOSPHERE

Founder of the journal:

# THE STATE SCIENTIFIC INSTITUTION «Center for Research of Glaciers of the National Academy of Sciences of Tajikistan»

The scientific and theoretical journal "Cryosphere" was founded in 2021 and is published four issues a year. The journal is registered under No. 194 / MJ since March 15, 2021 at the Ministry of Culture of the Republic of Tajikistan.

**Editor-in-Chief:** Abdulhamid KAYUMOV - Academician of the International Academy of Life Safety, Academician of the Engineering Academy of the Republic of Tajikistan, Professor

**Deputy Editor-in-Chief:** Alisho SHOMAHMADOV - Candidate of Physical and Mathematical Sciences;

### Editorial team:

Khonazar MUKHABBATOV - Doctor of Geographical Sciences, Professor;

Uktam MURTAZOEV - Doctor of Geographical Sciences, Professor;

Sadiriddin ABDURAHIMOV - Doctor of geological and mineralogical sciences;

Sabur ABDULLOEV - Doctor of Physical and Mathematical Sciences;

Ahrorjon KALANDAROV - Candidate of geographical sciences;

Amriddin SAMIEV - Candidate of geographical sciences;

Muboraksho TABARUKOV - Candidate of geographical sciences.

### International Editorial Board:

Martin HOELZLE - Professor (Switzerland);

Michael ZEMP - Professor (Switzerland);

Francesca PELLICCIOTTI - Professor (Switzerland);

Vladimir KONOVALOV - Doctor of Geographical Sciences (Moscow);

Shichang KANG – Professor (China);

Kristine TOVMASYAN - Dr Phd (Kazakhstan);

Yegorov Alexandr - Dr Phd (Kazakhstan);

Evan MILES - Dr Phd (USA);

Dmitry PETRAKOV - Dr Phd (Moscow);

Tomas SAKS - Dr Phd, (Switzerland).

© The state scientific institution «Center for Research of Glaciers of the National Academy of Sciences of Tajikistan», 2022

## CONTENT

1. <b>A. K. Kayumov, A. M. Shomahmadov, M. T. Safarov.</b> Relationship of meteorological parameters with hydrological regime of Tajikistan river basins during the vegetation periods 2018-2021 .....	8-27
2. <b>A. K. Kayumov, M. K. Abdulloeva, D. A. Kayumova, S. F. Abdullozoda.</b> Climatic changes above the atmosphere of the Fedchenko glacier for the period 1982-2021.....	28-46
3. <b>A. K. Kayumov, M. SH. Davlatova, KH. Saidzoda.</b> The state of glaciers of the Vanj river basin under climate change conditions.....	47-57
4. <b>A. K. Kayumov, M. H. Murodov.</b> Application of remote sensing methods for monitoring the condition of surging glaciers in the Vanj river basin .....	58-75
5. <b>A. K. Kayumov.</b> Monitoring of the Didal glacier using an unmanned aerial vehicle.....	76-85
6. <b>A. K. Kayumov.</b> Glacial lake outbursts on the Baralmas glacier.....	86-99

**КРИОСФЕРА**  
**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ЦЕНТР**  
**ИЗУЧЕНИЯ ЛЕДНИКОВ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК**  
**ТАДЖИКИСТАНА» № 2 (6), 2022 г.**

---

**ГЛЯЦИОЛОГИЯ**

УДК: 551.324.43

А. К. КАЮМОВ, А. М. ШОМАХМАДОВ, М. Т. САФАРОВ

**СВЯЗЬ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ С ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ  
РЕЖИМОМ БАССЕЙНОВ РЕК ТАДЖИКИСТАНА ЗА  
ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД 2018-2021 ГГ.**

**Аннотация.** Целью исследования является определение взаимосвязи основных метеорологических параметров, с гидрологическим режимом основных бассейнов рек Таджикистана за вегетационный период 2018-2021 гг. Выявлено, что максимальные значения усредненных по всем бассейнам рек среднемесячных значений расхода воды приходились на июнь-июль месяцы, и значительные изменения среднемесячных значений расхода воды по отдельным бассейнам рек в определенный период времени, объясняются соответствующими изменениями температуры воздуха или количества осадков за этот период времени. Средние по всем бассейнам рек среднемесячные значения температуры воздуха за весь вегетационный период увеличиваются, в среднем на 2,5 °С, а количества осадков и расхода воды уменьшаются примерно на 6 - 9 %. Полученные уравнения и графики корреляционной связи дают возможность при отсутствии данных по одному из бассейнов рек, определить их, в среднем, по другим бассейнам, если коэффициенты корреляции больше 0,6.

**Ключевые слова:** температура воздуха, количество осадков, отклонение метеорологических параметров от климатической нормы, расход воды, гидрологический режим, корреляционная связь.

**Введение**

Крупные речные бассейны Таджикистана (рис.1) различаются высотой водосборов, степенью оледенения, неоднородной доступностью влагонесущих воздушных масс и как следствие, неравномерного увлажнения различным развитием речной сети, неоднородными условиями питания рек и формирования стока [7]. По классификации, выделяются 3 типа питания рек Таджикистана: ледниково-снеговое, снегово-ледниковое, снегодождевое. К ледниково-снеговому относятся бассейны рек Пяндж, Вахш и Зеравшан, снеголедниковому - реки Варзоб и Кафирниган, а к снегодождевому - реки Яхсу и Кызылсу [5, 13].

Реки, питающиеся от ледников и снежников, характеризуются устойчивостью весенне-летнего половодного периода поэтому мониторинг ледниковых и снежных ресурсов в контексте изменения климата может служить для изучения сезонных и межгодовых режимов сток в речных бассейнах. В связи с этим, изучение и оценка водности бассейнов рек и оценка влияния изменения метеопараметров и климатических факторов на их гидрологический режим имеют большое значение и являются жизненно важными для Таджикистана и всей Центральной Азии.

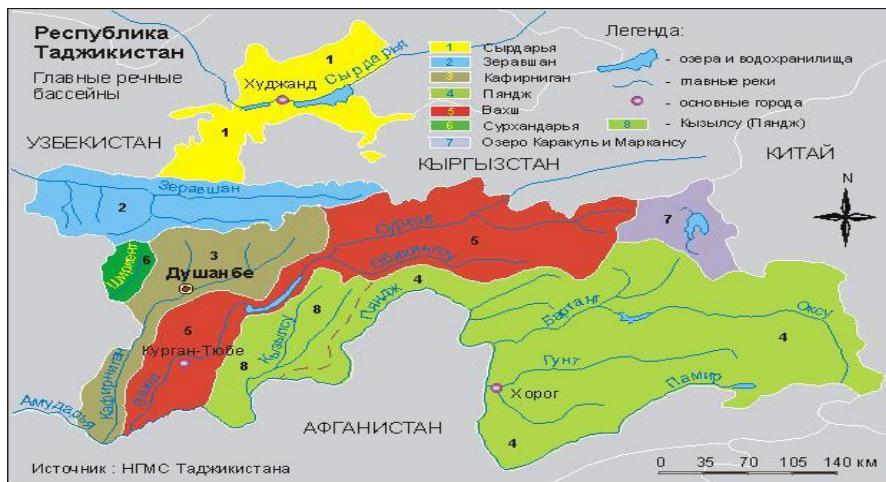


Рис 1. Основные речные бассейны Таджикистана [2]

По данным [13], водность рек Таджикистана в течение двух последующих десятилетий 1991-2010 гг. оказалась выше нормы за счет увеличения осадков и таяния ледников. Однако, в течение последних десятилетий такие исследования не проводились. Мониторинг гидрометеорологических параметров в контексте изменения климата служит основой для изучения сезонных и межгодовых режимов стока в речных бассейнах. К сожалению, детальный анализ количественной и качественной связи метеорологических параметров с гидрологическим режимом основных речных бассейнов Таджикистана, не проводился.

**Целью настоящей работы** является определение взаимосвязи основных метеорологических параметров (на примере температуры воздуха и количества осадков), с гидрологическим режимом основных бассейнов рек Таджикистана (на примере расхода воды) за вегетационные периоды 2018-

2021 гг. На первом этапе исследования проводился анализ количественной и качественной связи температуры воздуха, количества осадков, а также сезонного снежного покрова, оценка его состояния и определение его взаимо-связи с основными метеорологическими параметрами, в зимний и весенний периоды 2017-2021 гг. [8].

### **Район исследования**

В район исследования входят бассейны пяти рек Таджикистана, зоны формирования стока которых находятся на территории страны (рис. 1). Бассейны рек Вахш, Зеравшан, Варзоб и Пяндж расположены на территории с устойчивым снежным покровом и редкими оттепелями в течении зимнего сезона, а бассейны рек Кизилсу и Яхсу (предгорья Кулябского региона Хатлонской области) - в условиях с частыми оттепелями и крайне неустойчивым снежным покровом.

### **Использованные материалы и методика проведения анализа данных**

Для анализа использованы архивные материалы и гидрометеорологические бюллетени Агентства по гидрометеорологии за 2017-2021 гг. [3, 5]. Объектом исследования являются данные по расходу воды, температуре воздуха и количеству осадков на 16 гидрологических постах и 18 метеостанциях, расположенных в бассейнах рек Зерафшан, Кафирниган (Варзоб), Вахш, Пяндж и Кызилсу Яхсу (далее, Кызилсу), за весенне зимний и вегетационные периоды 2017-2021 гг. Высоты расположения станций в отдельных бассейнах рек следующее: Вахш – высоты 1258-1998 м н.у.м, Зеравшан – высоты 2204-3143 м н.у.м, Кафирниган – высоты 1361-3373 м н.у.м, Кызилсу – высоты 1132-2566 м н.у.м и Пяндж - высоты 1288-3436 м н.у.м. [3].

В основу методики анализа данных в данной работе был положен статистический анализ и сопоставление значений расхода воды и метеорологических параметров в речных бассейнах, с использованием Excel программы, заключающейся в их сопоставлении, а также определении их

взаимосвязи по различным бассейнам рек. Была также использована специальная литература по статистическому анализу экспериментальных данных [1,14,15]. Все данные усреднялись, как в месячном разрешении, так и по всем принадлежащим бассейнам рек станциям, а иногда, по всем бассейнам рек, т.е. каждая отдельная точка имеет большой вес и характеризует, по крайней мере, около 25-30 точек.

### **Анализ использованных гидрометеорологических данных за вегетационный период 2018-2021 гг.**

#### *Температура воздуха*

В таб. 1 приведены среднемесячные значения температуры воздуха по бассейнам рек за вегетационный период 2018-2021 гг., в °C.

**Табл. 1**

#### **Среднемесячные значения температуры воздуха по бассейнам рек за вегетационный период 2018-2021 гг., в °C**

Годы	Месяцы	Зеравшан	Вахш	Кафирниган	Кызылсуз	Пянджа	Среднее по бассейнам, °C
2018	IV	11,3	6,1	6,7	14,1	11,1	<b>9,9</b>
	V	13,9	8,5	9,9	17,7	13,7	<b>12,7</b>
	VI	18,9	13,4	14,9	24,9	19,2	<b>18,3</b>
	VII	24,1	18,1	20	28,8	23,3	<b>22,9</b>
	VIII	21,8	16,4	18	25,6	22,1	<b>20,8</b>
	IX	18,5	12	13,4	21,3	17,4	<b>16,5</b>
	<b>В среднем</b>	<b>18,1</b>	<b>12,4</b>	<b>13,8</b>	<b>22,1</b>	<b>17,8</b>	<b>16,8</b>
2019	IV	11,7	6,5	5,5	15,4	11,6	<b>10,1</b>
	V	15,4	10,5	10,9	19,1	14,2	<b>14</b>
	VI	16,5	10,9	12,6	21,5	15,8	<b>15,5</b>
	VII	23,8	18,3	19,7	28,5	22,8	<b>22,6</b>
	VIII	23,1	15,4	18,1	25,2	21,9	<b>20,7</b>
	IX	18,9	13	14,3	21,6	18,1	<b>17,2</b>
	<b>В среднем</b>	<b>18,2</b>	<b>12,4</b>	<b>13,5</b>	<b>21,9</b>	<b>17,4</b>	<b>16,7</b>
2020	IV	11,2	6	4,9	13,9	11,4	<b>9,5</b>
	V	15	10	10	18,5	15,2	<b>13,7</b>
	VI	18	12,4			20,5	<b>16,2</b>
	VII	21,2	15	17,1	26,1	19,7	<b>19,8</b>
	VIII	22,6	15,4	17,2	25,2	22,9	<b>20,7</b>
	IX	16,9	11,4	11,9	19,3	16,7	<b>15,2</b>
	<b>В среднем</b>	<b>17,5</b>	<b>11,7</b>	<b>12,4</b>	<b>20</b>	<b>17,7</b>	<b>15,9</b>
2021	IV	9,3	4,5	4,2	13,9	6,4	<b>7,7</b>
	V	16,4	11,2	11,8	20,3	15,2	<b>15</b>
	VI	19,9	14,2	16	25,8	18,7	<b>19</b>
	VII	23,6	17	19,1	28,8	23	<b>22,3</b>
	VIII	22,3	15,4	17,5	26,3	21,3	<b>20,6</b>
	IX	20,3	14,6	15,8	23,5	18,5	<b>18,5</b>
	<b>В среднем</b>	<b>18,6</b>	<b>12,8</b>	<b>14,1</b>	<b>23,1</b>	<b>17,2</b>	<b>17,2</b>
<b>Общее среднее</b>		<b>18,1±4,4</b>	<b>12,3±3,9</b>	<b>13,4±4,8</b>	<b>21,8±4,8</b>	<b>17,5±4,5</b>	<b>16,6±4,4</b>

Анализ данных показал, что за весь исследуемый вегетационный период 2018-2021 гг., *по бассейну реки Зеравшан* наиболее жаркими были июль и август месяцы ( $t_{cp}=22,8^{\circ}\text{C}$ ). Среднегодовые значения температуры воздуха в этом бассейне составляли: 2018 год –  $18,1^{\circ}\text{C}$ , 2019 год –  $18,2^{\circ}\text{C}$ , 2020 год –  $17,5^{\circ}\text{C}$  и 2021 год –  $18,6^{\circ}\text{C}$ , и в среднем, за весь период,  $18,1^{\circ}\text{C}$ .

*В бассейне реки Вахш*, относительно жаркими были июль и август месяцы ( $t_{cp}=16,4^{\circ}\text{C}$ ), а среднегодовые значения температуры воздуха изменились: 2018 год –  $12,4^{\circ}\text{C}$ , 2019 год –  $12,4^{\circ}\text{C}$ , 2020 год –  $11,7^{\circ}\text{C}$  и 2021 год –  $12,8^{\circ}\text{C}$ , составляя, в среднем,  $12,3^{\circ}\text{C}$ .

*В бассейне реки Кафирниган* относительно жаркими были июль и август месяцы ( $t_{cp}=18,3^{\circ}\text{C}$ ). Среднегодовые значения температуры воздуха, распределены следующим образом: 2018 год –  $13,8^{\circ}\text{C}$ , 2019 год –  $13,5^{\circ}\text{C}$ , 2020 год –  $12,4^{\circ}\text{C}$  и 2021 год –  $14,1^{\circ}\text{C}$ , составляя в среднем,  $13,4^{\circ}\text{C}$ .

*В бассейне реки Кызылсу*, наиболее жаркими были июль и август ( $t_{cp}=26,8^{\circ}\text{C}$ ). Наблюдались следующие среднегодовые значения температуры воздуха: 2018 год –  $22,1^{\circ}\text{C}$ , 2019 год –  $21,9^{\circ}\text{C}$ , 2020 год -  $20^{\circ}\text{C}$  и 2021 год –  $23,1^{\circ}\text{C}$ , составляя, в среднем,  $21,8^{\circ}\text{C}$ . Этот бассейн, отличается более высокими среднемесячными и среднегодовыми значениями температуры воздуха.

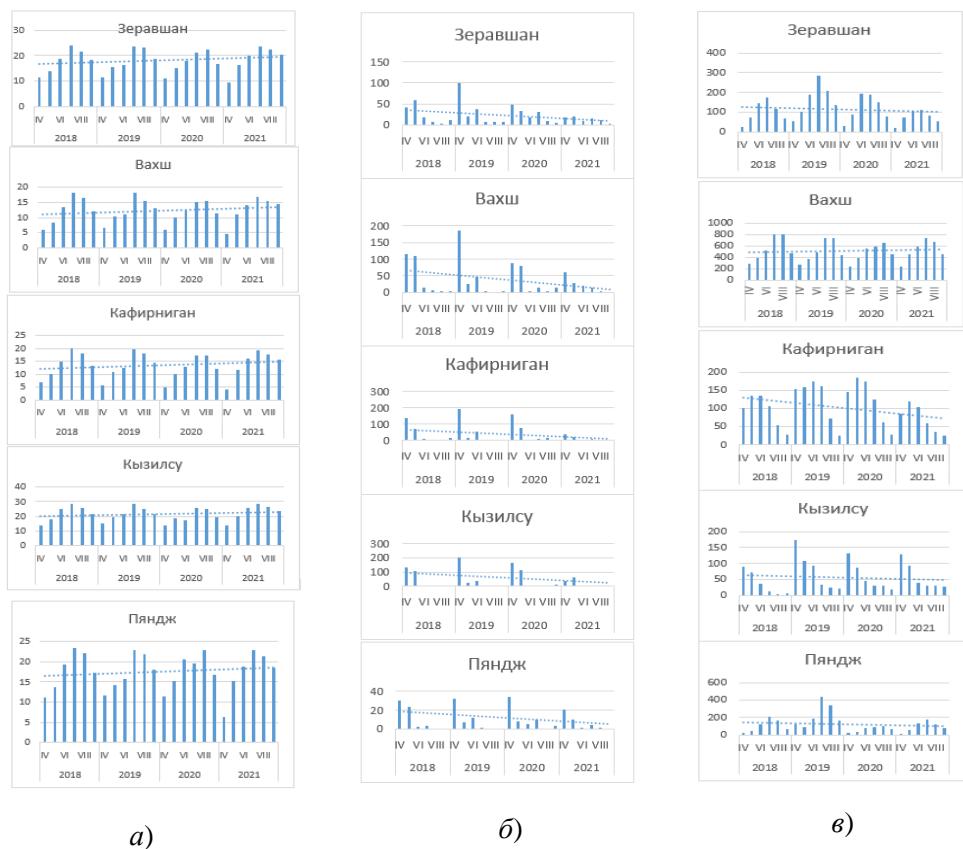
*В бассейне реки Пяндж* жаркими были июль и август месяцы ( $t_{cp}=22,1^{\circ}\text{C}$ ). Среднегодовые значения температуры воздуха не особо сильно отличались: 2018 год –  $17,8^{\circ}\text{C}$ , 2019 год –  $17,4^{\circ}\text{C}$ , 2020 год –  $17,7^{\circ}\text{C}$  и 2021 год –  $17,2^{\circ}\text{C}$ , составляя в среднем  $17,5^{\circ}\text{C}$ .

*В среднем по всем бассейнам* жаркими были июль и август месяцы ( $t_{cp}=21,3^{\circ}\text{C}$ ). За исследуемый вегетационный период, усредненные по бассейнам рек значения температуры воздуха, не изменились значительно и составляли: 2018 год –  $16,8^{\circ}\text{C}$ , 2019 год –  $16,7^{\circ}\text{C}$ , 2020 год –  $15,9^{\circ}\text{C}$  и 2021 год –  $17,2^{\circ}\text{C}$ , и в среднем,  $16,6^{\circ}\text{C}$ .

Если подвести итог, то в разрезе бассейнов, наибольшие величины усредненных за весь исследуемый период среднемесячных значений

температуры воздуха наблюдались для бассейнов рек Зеравшан, Кызылсу и Пяндж ( $17,5^{\circ}\text{C}$ - $21,8^{\circ}\text{C}$ ), а наименьшие для бассейнов рек Вахш и Кафирниган ( $12,3 - 13,4^{\circ}\text{C}$ ).

На рис. 2 *a*) приведен временной ход изменения среднемесячных значений температуры воздуха по исследуемым бассейнам рек, из которого видно, что изменения происходят синхронно, и имеют положительный тренд по всем бассейнам рек.



**Рис. 2. Временной ход изменения среднемесячных значений температуры воздуха - *a*), количества осадков *б*) и расхода воды - *в*), по исследуемым бассейнам рек за вегетационный период 2018-2021 гг.**

### **Количество осадков**

В табл. 3 приведены среднемесячные значения количества осадков по бассейнам рек за вегетационный период 2018-2021 гг., из рассмотрения которого видно, что по бассейну реки Зеравшан, наибольшее среднемесячное значение количества осадков, наблюдалось в апреле 2019 года (99,4 мм), относительно большие значения наблюдались в апреле, мае 2018 и апреле

2020 года (41,4 - 59,8 мм), а за весь оставшийся период они не значительны и составляют 2-37,4 мм. Среднегодовые значения изменились: 2018 год - 23,3 мм, 2019 год - 29,7 мм, 2020 год - 23,7 мм и 2021 год - 12,4 мм, составляя в среднем 22,3 мм.

**Табл. 3**

**Среднемесячные значения количества осадков по бассейнам рек за вегетационный период 2018-2021 гг., в мм**

Годы	Месяцы	Зеравшан	Вахш	Кафирниган	Кызылсу	Пяндж	В среднем по бассейнам, в мм
2018	IV	41,4	115,9	137,2	132,2	29,8	<b>91,3</b>
	V	59,8	110,6	71,7	106,7	23,4	<b>74,4</b>
	VI	16,8	15,4	12,2	5,6	1,8	<b>10,4</b>
	VII	6,4	6,7	1,3		2,7	<b>4,3</b>
	VIII	3,5	4,7	2,2	4		<b>3,6</b>
	IX	11,9	1,8	17,5			<b>10,4</b>
	<b>В среднем</b>	<b>23,3</b>	<b>42,5</b>	<b>40,4</b>	<b>62,1</b>	<b>14,4</b>	<b>32,4</b>
2019	IV	99,4	186,3	193,4	199,5	32	<b>142,1</b>
	V	20,9	24,5	17,3	23,7	6,8	<b>18,6</b>
	VI	37,4	47	51,9	36,9	11,8	<b>37</b>
	VII	7,4	2,3	2,2		0,5	<b>3,1</b>
	VIII	6,2		0,9			<b>1,4</b>
	IX	7,1	0,1				<b>3,6</b>
	<b>В среднем</b>	<b>29,7</b>	<b>52</b>	<b>53,1</b>	<b>86,7</b>	<b>12,8</b>	<b>34</b>
2020	IV	49	88,6	158,3	166,1	34,3	<b>99,3</b>
	V	32,3	79,5	76,9	114,9	8	<b>62,3</b>
	VI	17,8	1,9		5,4	5,3	<b>7,6</b>
	VII	29,7	14,8	11,9	4,1	9,5	<b>14</b>
	VIII	8,7	1,6	15,1			<b>8,5</b>
	IX	4,5	15,2	6,4	8,2	3,5	<b>7,6</b>
	<b>В среднем</b>	<b>23,7</b>	<b>33,6</b>	<b>53,7</b>	<b>59,7</b>	<b>12,1</b>	<b>33,2</b>
2021	IV	17,7	60,6	38,1	39,1	20,9	<b>35,3</b>
	V	19,5	29,1	23,3	62,1	9,8	<b>28,8</b>
	VI	9,5	20	5,1		1,6	<b>9,1</b>
	VII	15,3	15,2	8,6	1,9	4,5	<b>9,1</b>
	VIII	10,3	2,1	4,2		0,7	<b>4,3</b>
	IX	2					<b>0,4</b>
	<b>В среднем</b>	<b>12,4</b>	<b>25,4</b>	<b>15,9</b>	<b>34,4</b>	<b>7,5</b>	<b>14,5</b>
<b>Общее среднее</b>		<b>22,3</b>	<b>38,4</b>	<b>40,8</b>	<b>60,7</b>	<b>11,7</b>	<b>28,6</b>

По бассейну реки Вахш, наибольшие среднемесячные значения количества осадков наблюдались в апреле и мае 2018, апреле 2019, апреле и мае 2020, а также апреле 2021 года (60,6-115,9 мм), а среднегодовые изменились: 2018 год - 42,5 мм, 2019 год - 52,0 мм, 2020 год – 33,6 мм и 2021 год – 25,4 мм, составляя, в среднем, 38,4 мм.

По бассейну реки Кафирниган, наибольшее количество осадков наблюдалось в апреле 2018, 2019 и 2020 года (137,2 - 193,4), а в мае 2018 и 2020 года - (71,7 - 76,9 мм). Среднегодовые значения по этому бассейну изменились: 2018 год - 40,4 мм, 2019 год - 53,1 мм, 2020 год – 53,7 мм и 2021 год – 15,9 мм, составляя в среднем 40,8 мм.

По бассейну реки Кызылсу, наибольшее количество осадков зарегистрировано в апреле-мае 2018, апреле 2019 г., а также апреле и мае 2020 г. (106,7 - 199,5 мм). Среднегодовые значения осадков изменились: 2018 год - 62,1 мм, 2019 год - 86,7 мм, 2020 год – 59,7 мм и 2021 год – 34,4 мм, составляя в среднем, 60,7 мм.

По бассейну реки Пяндж максимальное количество осадков наблюдалось в апреле 2018-2021 гг. (20,9-34,3 мм). За весь остальной период осадки были незначительные (0,5-11,8 мм). Среднегодовые значения осадков составляют: 2018 год - 14,4 мм, 2019 год - 12,8 мм, 2020 год – 12,1 мм и 2021 год – 7,5 мм, и в среднем, 11,7 мм.

В среднем, за весь период, наибольшее количество осадков выпало по бассейнам рек Кызылсу, Кафирниган и Вахш (38,4 - 60,7 мм), а наименьшее - в бассейнах рек Пяндж и Зеравшан (11,7 - 22,3 мм).

Усредненные по всем бассейнам рек годовые значения количества осадков составляют: 2018 год - 32,4 мм, 2019 год - 34,0 мм, 2020 год – 33,2 мм и 2021 год – 14,5 мм, составляя в среднем 28,6 мм. Наибольшее количество осадков выпало в апреле и мае 2018, апреле 2019 и апреле - мае 2020 (62,3 - 142,1 мм). Значительно меньше осадков выпадало в июне 2020 и апреле-мае 2021 г. (28,8 - 37 мм), а наименьшее (0,4-14 мм) - за все остальное время.

На рис. 2 б) приведен временной ход изменения среднемесячных значений количества осадков по исследуемым бассейнам рек. Видно, что изменение количества осадков идет синхронно, и имеет отрицательный тренд по всем бассейнам рек.

### **Расход воды**

В табл. 5 приведены среднемесячные значения расхода воды по бассейнам рек за вегетационный период 2018-2021 гг. Анализ этой таблицы показал, что по бассейну реки Зеравшан, за весь исследуемый период, среднегодовые значения расхода воды составляли: 2018 год - 100,5 м<sup>3</sup>/сек,

2019 год - 162,1 м<sup>3</sup>/сек, 2020 год - 121,3 м<sup>3</sup>/сек и 2021 год - 74,2 м<sup>3</sup>/сек, и в среднем, 114,5 м<sup>3</sup>/сек.

Меньшие среднегодовые расходы воды в 2021 году и большие в 2019 году, по этому бассейну, можно объяснить соответственно, меньшими и большими среднегодовыми значениями количества осадков, и температурой воздуха, за эти годы (табл.1 и табл. 3).

Значительное увеличение среднемесячных значений расхода воды по этому бассейну наблюдалось в течение июня – августа 2018-2021 гг. В 2018, 2019 и 2021 годах, максимум этих значений приходился на июль, а в 2020 году - на июнь месяц (110,7 - 287 м<sup>3</sup>/сек).

**Табл. 5**

**Среднемесячные значения расхода воды по бассейнам рек за вегетационный период 2018-2021 гг., м<sup>3</sup>/сек**

Годы	Месяцы	Зеравшан	Вахш	Кафирниган	Кызылсу	Пяндж	Среднее по бассейнам, м <sup>3</sup> /сек
2018	IV	26,4	297,8	101,1	90,7	24,5	108,1
	V	73	388,2	135,5	71,5	42	142
	VI	147,1	523,5	135,8	36,8	118,3	192,3
	VII	172,9	808,8	107	11,6	205	261,1
	VIII	117,3	805	53,8	4,3	161	228,3
	IX	66,5	474	29,4	5,5	70,5	129,2
<b>В среднем</b>		<b>100,5</b>	<b>549,6</b>	<b>93,8</b>	<b>36,7</b>	<b>103,6</b>	<b>176,8</b>
2019	IV	53,4	280,8	153,4	173	116,5	155,4
	V	103,8	371,2	158,8	108	86	165,6
	VI	188,5	487,6	174,8	94,5	186,8	226,4
	VII	287	739,4	161,5	32,8	439	331,9
	VIII	206	744,8	72	22,8	338,5	276,8
	IX	133,6	441	24,2	20,7	158,9	155,7
<b>В среднем</b>		<b>162,1</b>	<b>510,8</b>	<b>124,1</b>	<b>75,3</b>	<b>221</b>	<b>218,7</b>
2020	IV	28	242,2	144,9	132,3	22	113,9
	V	87,9	393	184,4	86,2	28,4	156
	VI	194,7	561,8	174,8	45,3	72	209,7
	VII	190,8	585,5	124,2	30,7	86,4	203,5
	VIII	149,9	657,5	63,3	28,9	101	200,1
	IX	76,2	448,3	28,9	18,2	60,8	126,5
<b>В среднем</b>		<b>121,3</b>	<b>481,4</b>	<b>120,1</b>	<b>59,6</b>	<b>61,8</b>	<b>168,3</b>
2021	IV	19,5	233,9	84,6	129	16,2	96,6
	V	74,2	455,3	119,8	93	57,9	160
	VI	106,3	587,5	103,7	38,1	135,2	194
	VII	110,7	736	60,2	28,9	175,2	222
	VIII	81	673,3	34,9	29,5	119,3	187,6
	IX	53,3	459,3	24,9	26,2	80	128,7
<b>В среднем</b>		<b>74,2</b>	<b>524,2</b>	<b>71,4</b>	<b>57,5</b>	<b>97,3</b>	<b>164,8</b>
<b>За 2018-2021гг.</b>		<b>114,5±66,8</b>	<b>516,5±175,2</b>	<b>102,3±55,4</b>	<b>56,6±40,3</b>	<b>120,9±99,6</b>	<b>182,1±57,4</b>

*По бассейну реки Вахш, за весь исследуемый вегетационный период 2018-2021 гг., среднегодовые значения расхода воды относительно нормы составляли: 2018 год - 549,6 м<sup>3</sup>/сек, 2019 год - 510,8 м<sup>3</sup>/сек, 2020 год - 481,4 м<sup>3</sup>/сек и 2021 год - 524,2 м<sup>3</sup>/сек, составляя, в среднем, 516,5 м<sup>3</sup>/сек. Меньший*

среднемесячный расход воды по бассейну реки Вахш в 2020 году объясняется меньшими среднегодовыми значениями количества осадков и температуры воздуха в этом году (табл. 1 и табл. 3). Максимальные среднемесячные значения расхода воды наблюдались в течение июня - августа, с максимумом в июле 2018 и 2021 года и в августе 2019 и 2020 года (657,5 - 808,8 м<sup>3</sup>/сек).

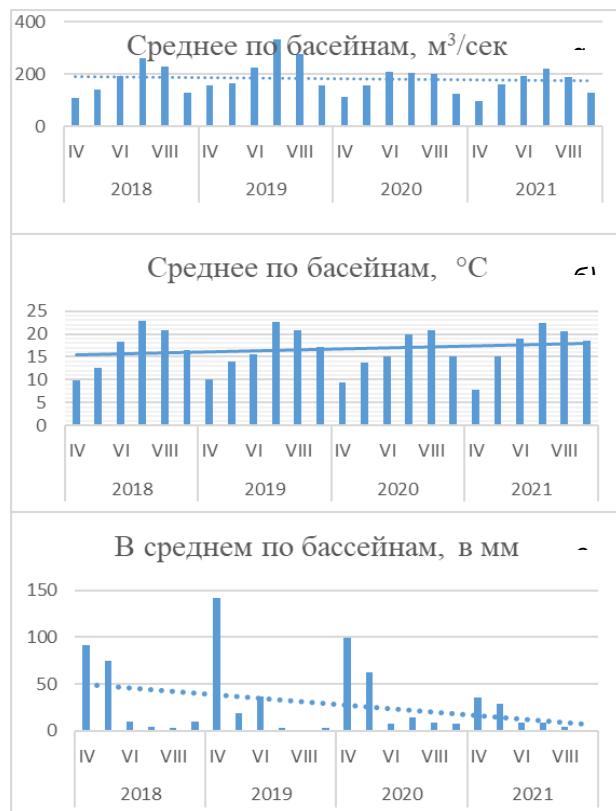
*В бассейне реки Кафирниган*, за весь исследуемый вегетационный период, среднегодовые значения расхода воды составляли: 2018 год - 93,8 м<sup>3</sup>/сек, 2019 год - 124,1 м<sup>3</sup>/сек, 2020 год - 120,1 м<sup>3</sup>/сек и 2021 год - 71,4 м<sup>3</sup>/сек, и в среднем, 102,3 м<sup>3</sup>/сек. Меньшие среднегодовые расходы воды в 2018 и 2021 году можно объяснить меньшими среднегодовыми значениями количества осадков за эти годы (табл. 3). Максимальные среднемесячные значения расхода воды наблюдались в течение апреля-июля, с максимумом в июне 2018 и 2019 годов и мае 2020 и 2021 года (119,8 - 184,4 м<sup>3</sup>/сек).

*В бассейне реки Кызилсу*, среднегодовые значения расхода воды составляли: 2018 год - 36,7 м<sup>3</sup>/сек, 2019 год - 75,3 м<sup>3</sup>/сек, 2020 год - 59,6 м<sup>3</sup>/сек и 2021 год - 57,5 м<sup>3</sup>/сек, и в среднем, 56,6 м<sup>3</sup>/сек. Наибольшие среднегодовые значения расхода воды в 2019 и 2020 и 2021 году можно объяснить наибольшим количеством осадков и высокими значениями температуры воздуха в эти годы (табл. 1 и табл. 3). Максимальное увеличение среднемесячных значений расхода воды наблюдалось в течение апреля-мая, а максимумы - в апреле (90,7 - 173 м<sup>3</sup>/сек).

*В бассейне реки Пяндж*, среднегодовые значения расхода воды составляли: 2018 год - 103,6 м<sup>3</sup>/сек, 2019 год - 221 м<sup>3</sup>/сек, 2020 год - 61,8 м<sup>3</sup>/сек и 2021 год - 97,3 м<sup>3</sup>/сек, составляя, в среднем, 120,9 м<sup>3</sup>/сек. По-видимому, наибольшее среднегодовое значение расхода воды в 2019 году можно объяснить относительно высоким значением отклонения температуры воздуха от нормы (1,6 °C) в этом году. Максимальные среднемесячные значения расхода воды за исследуемый вегетационный период в этом

бассейне наблюдались в течение июнь-августа, с максимумами в июле 2018, 2019 и 2021 года и августе 2020 года (101 - 439 м<sup>3</sup>/сек).

За весь исследуемый период, наибольшие значения усредненных по отдельным бассейнам рек среднемесячных значений расхода воды, наблюдались по бассейну реки Вахш (516,5 м<sup>3</sup>/сек), а наименьшие – в бассейне реки Кызилсу (56,6 м<sup>3</sup>/сек.), другие значения менялись в пределах 102,3-120,7 м<sup>3</sup>/сек. Среднее по всем бассейнам рек значение, составляло 182,1 м<sup>3</sup>/сек.



**Рис. 3. Временной ход изменения среднемесячных значений расхода воды - а), температуры воздуха - б) и количества осадков - в), в среднем по бассейнам рек, за вегетационный период 2018-2021 гг.**

Усредненные по всем бассейнам рек среднемесячные значения расхода воды, увеличивались значительно в течение апреля-июля 2018, 2019 и 2021 годов, с максимумом в июле, а в 2020 году с максимумом в июне, меняясь в пределах 209,7 - 331,5 м<sup>3</sup>/сек. Наибольшие среднегодовые годовые значения, наблюдались в 2019 году (218,7 м<sup>3</sup>/сек), меняясь в пределах 164,8-176,8 м<sup>3</sup>/сек за другие годы.

На рис. 2 в) приведен временной ход изменения среднемесячных значений расхода воды по исследуемым бассейнам рек. Видно, что изменение расхода воды идет синхронно по бассейнам рек Зеравшан-Вахш, Зеравшан - Пяндж и Вахш - Пяндж, а также по бассейнам рек Зеравшан и Пяндж со средним по всем бассейнам рек и имеет отрицательный тренд по всем бассейнам рек, что подтверждается их достаточно тесной корреляционной связью, в чем мы убедимся ниже.

Если подытожить результаты изучения тренда изменения исследуемых параметров по отдельным бассейнам (рис. 2 а-в) и рассмотреть это изменение, в среднем по всем бассейнам рек (рис. 3 а-в), то можно убедиться, что тенденции остаются неизменными по всем исследуемым параметрам и в итоге, за весь исследуемый период вегетации температура воздуха увеличивается, в среднем, на 2,5 °С (рис. 3б), а количество осадков и расход воды уменьшаются на 6-9 % (рис. 3а и 3б).

Конечно, увеличение температуры воздуха за исследуемый период на 2,5°С (рис. 3б) вначале кажется большим, но не надо забывать, что мы рассматривали изменение параметров только за вегетационный период, а не их годовые изменения. Например, как было отмечено в работе [8], за весь исследуемый зимний период и период ранней весны 2017-2022 гг., наблюдалось увеличение температуры воздуха, в среднем, на 0,9°С, а среднемесячных осадков, высоты снега на метеоплощадках и высоты снега по данным маршрутной снегосъемки - уменьшение соответственно, на 29%, 13%, и 25 %.

### **Изучение взаимосвязи гидрологического режима и метеорологических параметров**

#### ***Расход воды***

В табл. 7 приведены значения коэффициентов корреляции среднемесячных значений расхода воды между отдельными бассейнами рек за вегетационный период 2018-2021 гг. Значительные положительные значения коэффициентов корреляции наблюдаются для бассейнов рек

Зеравшан-Вахш, Зеравшан - Пяндж, Вахш - Пяндж, Кафирниган - Кызилсу, а также бассейнов рек Зеравшан, Вахш и Пяндж со средними по всем бассейнам рек значениями (0,58 - 0,89).

Значительный отрицательный коэффициент корреляции среднемесячных значений расхода воды между бассейнами рек Вахш и Кызилсу (-0,77) объясняется тем, что пик вегетационного периода для бассейна реки Кызилсу наступает раньше, в апреле месяце, а в бассейне реки Вахш - в июне-июле (табл.5).

**Табл. 7**

**Корреляционная матрица среднемесячных значений расхода воды по бассейнам рек за 2018-2021 гг.**

Реки	Вахш	Кафирниган	Кызилсу	Пяндж	Среднее по бассейнам
Зеравшан	<b>0,69</b>	<b>0,27</b>	<b>-0,45</b>	<b>0,79</b>	<b>0,9</b>
Вахш		<b>-0,24</b>	<b>-0,77</b>	<b>0,69</b>	<b>0,85</b>
Кафирниган			<b>0,58</b>	<b>0,02</b>	<b>0,18</b>
Кызилсу				<b>-0,38</b>	<b>-0,46</b>
Пяндж					<b>0,89</b>

Результаты анализа коэффициентов корреляции среднемесячных значений расхода воды между исследуемыми бассейнами рек подтверждаются по ходу изменения расхода воды (рис.2в).

### *Температура воздуха*

Корреляционная матрица связи среднемесячных значений температуры воздуха по отдельным бассейнам рек за 2018-2021 гг. (табл. 8) свидетельствует об их довольно тесной связи (0,96-0,99), что подтверждается также ее синхронным изменением по всем бассейнам рек (см. рис. 2а).

**Табл. 8**

**Корреляционная матрица связи среднемесячных значений температуры воздуха по бассейнам рек за 2018-2021 гг.**

Реки	Вахш	Кафирниган	Кызилсу	Пяндж	Среднее по бассейнам
Зеравшан	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,95</b>	<b>0,97</b>	<b>0,99</b>
Вахш		<b>0,99</b>	<b>0,96</b>	<b>0,97</b>	<b>0,99</b>
Кафирниган			<b>0,96</b>	<b>0,96</b>	<b>0,99</b>
Кызылсу				<b>0,89</b>	<b>0,98</b>
Пяндж					<b>0,96</b>

**Количество осадков**

Коэффициенты корреляции среднемесячных значений количества осадков по отдельным бассейнам рек свидетельствуют об их довольно тесной связи (0,80-0,98), что подтверждается синхронным изменением количества осадков по всем бассейнам рек (см. рис. 2б).

**Табл. 9**

**Корреляционная матрица среднемесячных значений количества осадков по бассейнам рек за 2017-2022 гг.**

Реки	Вахш	Кафирниган	Кызилсу	Пяндж	Среднее по бассейнам
Зеравшан	<b>0,93</b>	<b>0,89</b>	<b>0,85</b>	<b>0,82</b>	<b>0,93</b>
Вахш		<b>0,93</b>	<b>0,93</b>	<b>0,88</b>	<b>0,98</b>
Кафирниган			<b>0,97</b>	<b>0,91</b>	<b>0,98</b>
Кызилсу				<b>0,8</b>	<b>0,98</b>
Пяндж					<b>0,92</b>

**Расход воды и другие параметры**

Между среднемесячными значениями расхода воды и температурой воздуха по бассейнам рек, также существует тесная связь (табл. 10), о чем свидетельствуют значительные коэффициенты корреляции (от -0,75 до 0,94), за исключением бассейна реки Кафирниган (-0,32).

Значительный отрицательный коэффициент корреляции (-0,75) в бассейне Кызилсу, объясняется тем, что максимальный пик расхода воды в этом бассейне приходится на апрель месяц, а в апреле температура воздуха меньше, чем за остальной период (табл. 5), а довольно большие

положительные значения этих коэффициентов (0,62-0,94) в бассейнах рек Зеравшан, Вахш, Кызилсу, Пяндж и в среднем по всем бассейнам, подтверждаются согласованным изменением этих величин по названным бассейнам рек и, в среднем, по всем бассейнам (рис. 2в и 3а).

**Табл. 10**

**Корреляционная связь среднемесячных расходов воды и температуры воздуха в бассейнах рек за 2017-2022 гг.**

Зеравшан	Вахш	Кафирниган	Кызилсу	Пяндж	Среднее по бассейнам
0,68	0,94	-0,32	-0,75	0,62	0,78

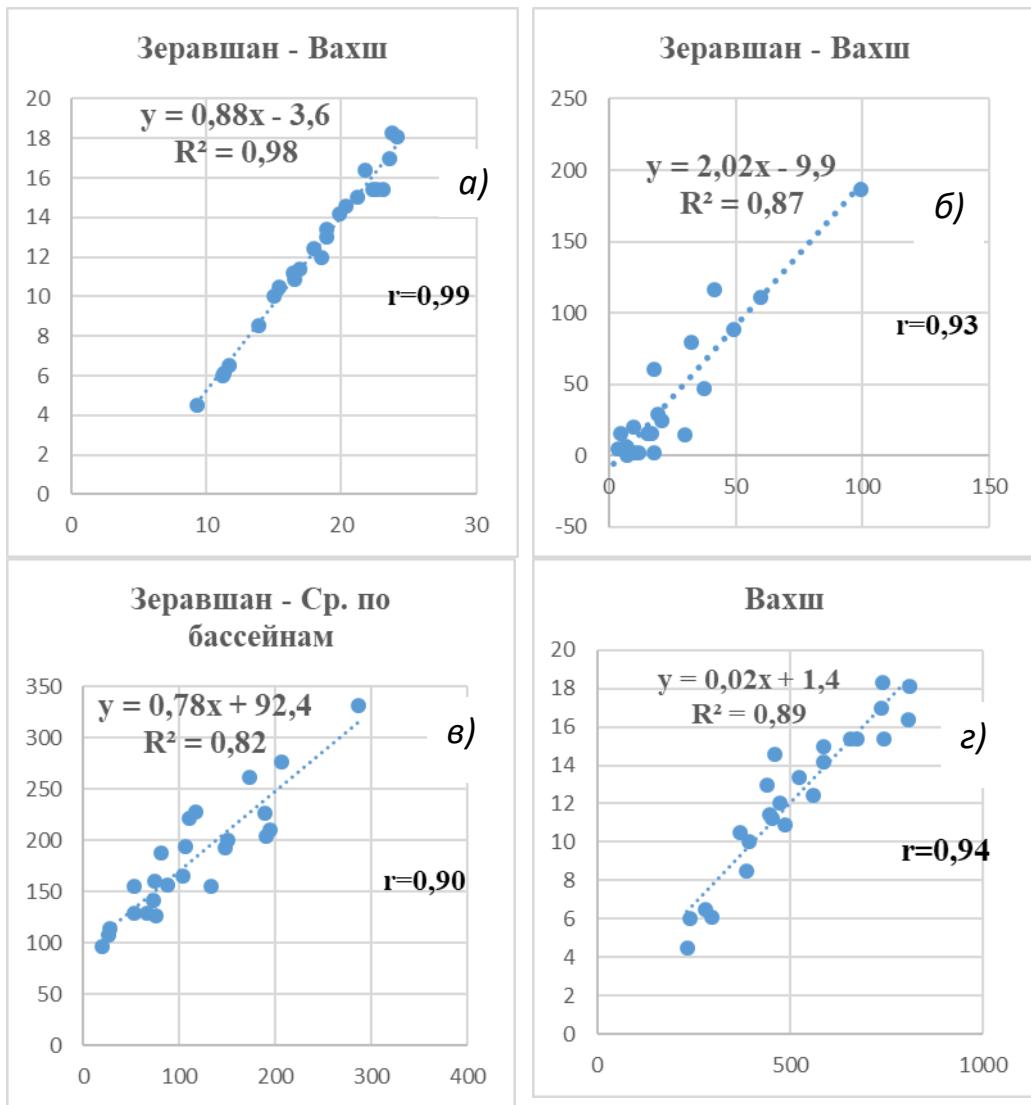
В табл. 11 приведены коэффициенты корреляции среднемесячных значений расхода воды и количества осадков по бассейнам рек, из которого видно, что коэффициенты корреляции значительны только для бассейнов рек Вахш и Кызилсу (-0,69 и 0,77, соответственно). Для остальных бассейнов рек они не значительны.

**Табл. 11**

**Корреляционная связь среднемесячных значений расходов воды и количества осадков в бассейнах рек за 2017-2022 гг.**

Зеравшан	Вахш	Кафирниган	Кызилсу	Пяндж	Среднее по бассейнам
-0,34	-0,69	0,43	0,77	-0,48	-0,51

Отрицательный коэффициент корреляции (-0,69) для бассейна реки Вахш означает, что максимальные значения расхода воды для этого бассейна приходятся на июнь-август, а в это время осадки незначительны (табл. 3).



**Рис. 4. Примеры корреляционных графиков связи среднемесячных значений температуры воздуха - а), количества осадков - б) и расхода воды - в), а также расхода воды и температуры воздуха - г) по отдельным бассейнам.**

Если подытожить результаты изучения корреляционных связей между исследуемыми параметрами, то вытекает, что значительные положительные коэффициенты корреляции свидетельствуют о синхронном изменении соответствующих параметров по бассейнам рек. Значительные отрицательные коэффициенты корреляции по отдельным бассейнам означают, что максимальные значения расхода воды для этих бассейнов приходятся на разные периоды времени. В этом можно убедится при рассмотрении ходов изменения исследуемых параметров, приведенных на рис. 2. и рис.3.

В ходе изучения связи значений выбранных метеопараметров и расхода воды по отдельным бассейнам и усредненным по всем бассейнам рек, по значительным коэффициентам корреляции, были получены соответствующие корреляционные графики и уравнения (примеры приведены на рис. 4 а-г).

Такие графики были получены по всем исследуемым параметрам, для которых коэффициенты корреляционной связи были больше 0,5-0,6 (смотрите вышеприведенные таблицы).

Были также получены соответствующие корреляционные уравнения корреляционной связи, которые дают возможность, при отсутствии данных по одному из бассейнов рек или среднему по всем бассейнам определить, в среднем, другое значение. Расчеты по этим уравнениям и графикам допустимы, если коэффициенты корреляции больше 0,6, т.е. чем больше коэффициент корреляции, тем надежнее получаемые результаты.

## **Заключение**

Анализ исследуемых параметров по бассейнам рек Вахш, Зеравшан, Варзоб, Кызилсу и Пяндж. за вегетационный период (апрель - сентябрь месяцы) 2018-2021 гг. показал, что:

1. Значительные изменения среднемесячных значений расхода воды по отдельным бассейнам рек в определенный период времени, объясняются соответствующими изменениями температуры воздуха или количества осадков за этот период.
2. Значительные положительные коэффициенты корреляции по отдельным бассейнам рек свидетельствуют о синхронном изменении соответствующих параметров (температура воздуха, количество осадков и расход воды) по этим бассейнам, а значительные отрицательные коэффициенты корреляции по отдельным бассейнам означают, что максимальные значения расхода воды для этих бассейнов приходятся на разные периоды времени.

3. Между среднемесячными значениями температуры воздуха и количества осадков по отдельным бассейнам рек и, в среднем, по всем бассейнам, существует довольно тесная корреляционная связь (0,80-0,99).
4. По бассейнам рек Зеравшан, Вахш, Пяндж и в среднем по всем бассейнам наблюдаются значительные положительные коэффициенты корреляции среднемесячных значений расхода воды (0,58-0,90);
5. За весь исследуемый период вегетации усредненные по всем бассейнам рек среднемесячные значения температуры воздуха увеличиваются, в среднем на 2,5 °C, а количества осадков и расхода воды уменьшаются на 6-9%;
6. Полученные уравнения и графики корреляционной связи дают возможность, при отсутствии данных по одному из бассейнов рек определить, в среднем, другое значение, если коэффициенты корреляции больше 0,6.

А. Қ. ҚАЮМОВ, А. М. ШОМАҲМАДОВ, М. Т. САФАРОВ

**АЛОҚАМАНДИИ ПАРАМЕТРҲОИ МЕТЕОРОЛОГӢ БО РЕҶАИ  
ГИДРОЛОГИИ ҲАВЗАҲОИ ДАРЁҲОИ ТОҶИКИСТОН ДАР  
ДАВРАИ ВЕГЕТАЦИОНИИ СОЛҲОИ 2018-2021**

**Фишурда.** Мақсади таҳқиқот муайян кардани робитаи параметрҳои асосии метеорологӣ бо речай гидрологии ҳавзаҳои асосии дарёҳои Тоҷикистон барои мавсими вегетатсионии солҳои 2018-2021 мебошад. Маълум карда шуд, ки дар давраи муайян тағиироти назарраси қимати моҳонаи сарфи об дар ҳавзаҳои дарёҳои алоҳидаро бо тағиироти мувофиқи ҳарорати ҳаво ё миқдори боришот дар ин давра шарҳ додан мумкин. Қимати миёнаи ҳарорати моҳонаи ҳаво барои тамоми ҳавзаҳои дарёҳо, дар давраи вегетатсионии таҳқиқардида, ба ҳисоби миёна 2,5 °C зиёд шуда, миқдори боришот ва сарфи об 6-9 % кам мешавад. Вобастагиҳо ва графикҳои коррелятсионии ҳосилишуда имкон медиҳанд, ки дар сурати мавҷуд набудани маълумот оид ба яке аз ҳавзаҳои дарё, қимати он аз ҳисоби ҳавзаи дарёи дигар, ки барояи маълумот вуҷуд дорад, муайян карда шавад, агар коэффициенти коррелятсия аз 0,6 зиёд бошад.

**Калидвожаҳо:** ҳарорати ҳаво, боришот, тамоюли параметрҳои метеорологӣ аз меъёри иқлими, сарфи об, речай гидрологӣ, вобастагии коррелятсионӣ.

**RELATIONSHIP OF METEOROLOGICAL PARAMETERS WITH  
HYDROLOGICAL REGIME OF TAJIKISTAN RIVER BASINS  
DURING THE VEGETATION PERIODS 2018-2021**

**Annotation.** The purpose of the study is to determine the relationship of the main meteorological parameters with the hydrological regime of the main river basins of Tajikistan for the growing seasons 2018-2021. It was revealed that significant changes in the average monthly water discharge rates for individual river basins (up or down) over a certain period of time can be explained by corresponding changes in air temperature or precipitation over this period. Monthly air temperatures averaged over all river basins increase by an average of 2.5 °C, but precipitation and water discharge decrease by 6-9% over all investigated vegetation period. The resulting correlation equations and graphs make it possible, in the absence of data for one of the river basins, to determine it on average, through other river basin, if the correlation coefficients are greater than 0.6.

**Key words:** air temperature, precipitation, deviation of meteorological parameters from the climate norm, water flow, hydrological regime, correlation connection, correlation coefficient.

**Литература**

1. Вентцел Е.С. Теория вероятностей. Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 4-е стереотипное издание, Москва, 1969 г. 564 с.
2. С. Абдумамадов. Отчет по водным ресурсам Таджикистана. Обзор и анализ речного стока. Фонды Государственного учреждения «Агентство по гидрометеорологии». Душанбе, 2006 г. 18с.
3. Гидрометеорологические бюллетени Агентства по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан за 2017-2022гг. год. Душанбе, 2022 г.
4. Годовые обзоры по стихийным гидрометеорологическим явлениям за 2009 и 2014 - 2017гг. Фонды Агентства по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан.
5. Декадные гидрологические бюллетени Агентства по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан за 2021 год. Душанбе, 2021 г.

6. Единство в науке «United in Science»: мы движемся в неверном направлении. Доклад ВМО, Женева, 13 сентября 2022 года. 20 с.
7. Каюмов А.К., Салимов Т.О. Изменения климата и водные ресурсы Таджикистана. Издательство «Ирфон», – Душанбе, 2013.168 с.
8. Каюмов А.К., Шомахмадов А.М., Сафаров М.Т. Изучение связи метеопараметров в бассейнах основных рек Таджикистана за период зимы и ранней весны 2017-2022 гг.. Журнал “Криосфера” № 1, 2022 г., Душанбе, 2024.
9. Кобулиев З.В. Мониторинг состояния ледников Таджикистана с учетом изменения климата. Душанбе, 2017. 21 с.
- 10.Месячный обзор о гидрометеорологических условиях, сложившихся в Республике Таджикистан. Фонды Агентства по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан за 2021 год. Душанбе, 2021 г.12с.
- 11.Мухаббатов Х., Яблоков А. Снежный покров Таджикистана - Третье национальное сообщение Республики Таджикистан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. 2014 г., 79 с.
- 12.Публикация ВМО. Защитим наши народы и будущие поколения. Женева, 5 марта 2022 г. 18 с.
- 13.Третье национальное сообщение Республики Таджикистан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Под общей редакцией профессора Каюмова А.К. Душанбе, 2008г. стр. 84-90.
- 14.Руководящий нормативный документ по ведению учета поверхностных вод. Методические указания. Ленинград, 1984. 16 с.
- 15.Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Государственный гидрологический институт. С-Петербург, 2004г.75 с.

**КРИОСФЕРА**  
**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ЦЕНТР**  
**ИЗУЧЕНИЯ ЛЕДНИКОВ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК**  
**ТАДЖИКИСТАНА» № 2 (6), 2022 г.**

**ГЛЯЦИОЛОГИЯ**

УДК 551.32; 581.1; 551.583

А. К. КАЮМОВ, М. К. АБДУЛЛОЕВА, Д. А. КАЮМОВА,  
С.Ф. АБДУЛЛОЗОДА<sup>1</sup>

**КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАД АТМОСФЕРОЙ ЛЕДНИКА**  
**ФЕДЧЕНКО В ПЕРИОД 1982-2021ГГ.**

*Государственное научное учреждение «Центр изучения  
ледников НАНТ»*

В статье были проанализированы климатические изменения над атмосферой ледника Федченко за период 1982-2021гг., используя спутниковые данные NASA. Представлены результаты анализа временных изменений (месячные, сезонные и межгодовые) значения температуры воздуха, температуры поверхности, температура точки росы, относительной влажности воздуха, осадки, испарения и содержания водяного пара над атмосферой ледника Федченко. Рассчитаны коэффициенты увлажнения и биометеорологического индекса – термогигрометрического коэффициента сухости воздуха. Увеличение температуры за последнее десятилетия относительно первого десятилетия для ледника Федченко составляет +0,85°C что возможно связано с потеплением в холодный период, так как отличие от среднемесячных значений в теплый период незначительно. Потепление климата над атмосферой ледника Федченко существенно вносит вклад в холодный сезон. Возможно, высокие сезонные температуры в 2002-2011гг внесли значительный вклад в ускорение таяния ледника Федченко.

**Ключевые слова.** ледник Федченко, температура воздуха, температура поверхности, относительная влажность воздуха, температура точки росы, осадки, испарения и содержания водяного пара.

### **Введение**

Климат Таджикистана определяется горами. Зимой температура в горах опускается до -60°C, а летом на равнинах превышает +40°C. Более половины территории страны расположено на высоте 3000м, а высота

---

<sup>1</sup> Адрес для корреспонденции: Каюмов Абдулхамид, Абдуллоева Майсара Курбанована,. 734025, Республика Таджикистан, Душанбе, пр. Рудаки, 33, “Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана”. E-mail: [abdkaymov@mail.ru](mailto:abdkaymov@mail.ru); [abdulloevamajsara1@gmail.com](mailto:abdulloevamajsara1@gmail.com)

некоторых вершин превышает 7000м. Ледники и снежные запасы в горах питают Амударью.

Изменение климата для Таджикистана может быть особенно разрушительным поскольку он подвержен различным стихийным бедствиям. Ухудшение характера осадков, повышение температуры, сокращение ледников и экстремальные погодные явления являются дополнительными факторами к существующим стихийным явлениям. Проведенные многолетние наблюдения за погодой свидетельствуют об увеличении числа жарких дней, уменьшении числа холодных дней, а также значительном изменении количества и продолжительности осадков.

В странах Центральной Азии возникла необходимость наладить систему наблюдения за ледниками высокогорья, организовать круглогодичные наблюдения за ледниками и вечной мерзлотой на уже существующих станциях [1].

Как известно площадь ледников Таджикистана составляет 8467 км<sup>2</sup>, что составляет около 8% территории страны, что вдвое превышает площадь лесов. Общий объем ледников оценивается более чем в 576км<sup>3</sup>. Ежегодное таяние ледников дает 10-20% воды. В засушливые и жаркие годы таяние ледников обеспечивает до 70% стока воды. Крупнейшие ледники страны: ледник Федченко - 651 км<sup>2</sup>, ледник Грум - 160 км<sup>2</sup>, ледник Бивачный - 197км<sup>2</sup>, ледник Гармо - 171км<sup>2</sup>, ледник Зеравшан - 132км<sup>2</sup> и Кашолая Русского географического общества - 64,4км<sup>2</sup>. В XX веке ледниковая система Федченко потеряла почти все свои тонкие и боковые ответвления, при этом основное скопление ледниковых масс постепенно уменьшалось. Анализ показывает [2], что за период с 1966 по 2000 год ледник Федченко уменьшился на 44 км<sup>2</sup>, что составляет 6 процентов от его общей площади. В целом за период наблюдений (1933-2011 гг.) ледник Федченко отступил на 1км и потерял более 15км<sup>3</sup> (или

одну десятую) своей массы. Моделирование изменения климата, проведенное в рамках пилотной программы адаптации к изменению климата в Таджикистане, показало, что прогнозируемое повышение температуры приведет к сокращению количества морозных дней. К 2050 году, согласно различным климатическим моделям, количество морозных дней сократится на 15-50 дней в году. Все климатические модели показывают увеличение количества сильных осадков. Годовой темп потепления самый высокий в северной части страны, меньше осадков ожидается на юго-востоке. С 1950 года количество осадков в этом районе снижается примерно на 1 процент в год. Предполагается, что к 2060-2080 гг. Количество воды, поступающей в результате таяния ледников, уменьшается, поскольку к тому времени некоторые ледники, вероятно, исчезнут. И, конечно же, на водный баланс влияет исчезновение ледников [2].

Ранее [3-6] нами изучено содержание тяжелых металлов в составе проб почв и атмосферных осадков некоторых ледников.

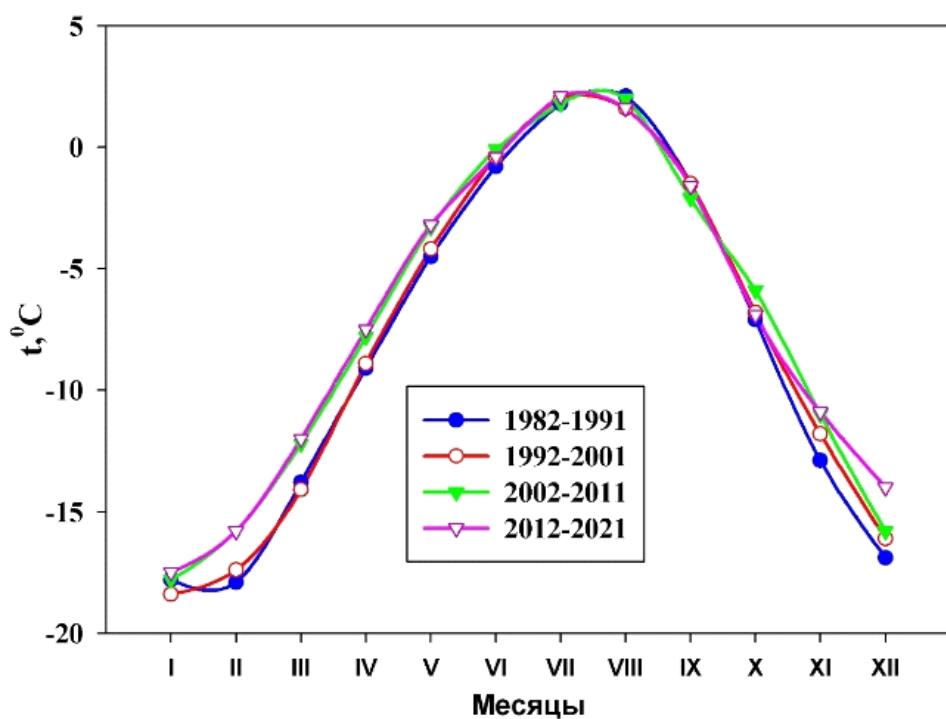
**Целью настоящей статьи** является анализ климатических изменений над атмосферой ледника Федченко за период 1982-2021гг., используя спутниковые данные НАСА [7]. Представлены результаты анализа временных изменений (месячные, сезонные и межгодовые) значений температуры воздуха, температуры поверхности, температуры точки росы, относительной влажности воздуха, осадков, испарения и содержания водяного пара над атмосферой ледника Федченко.

### **Обсуждение результатов**

В среднемесячном изменении температуры над ледником Федченко наблюдается максимум в июле-августе для всех четырех десятилетий, низкие температуры наблюдаются исключительно в зимние месяцы: декабре, январе и феврале. Значение среднемесячной

температуры в двух последних десятилетиях заметно выше в холодный период (рис.1).

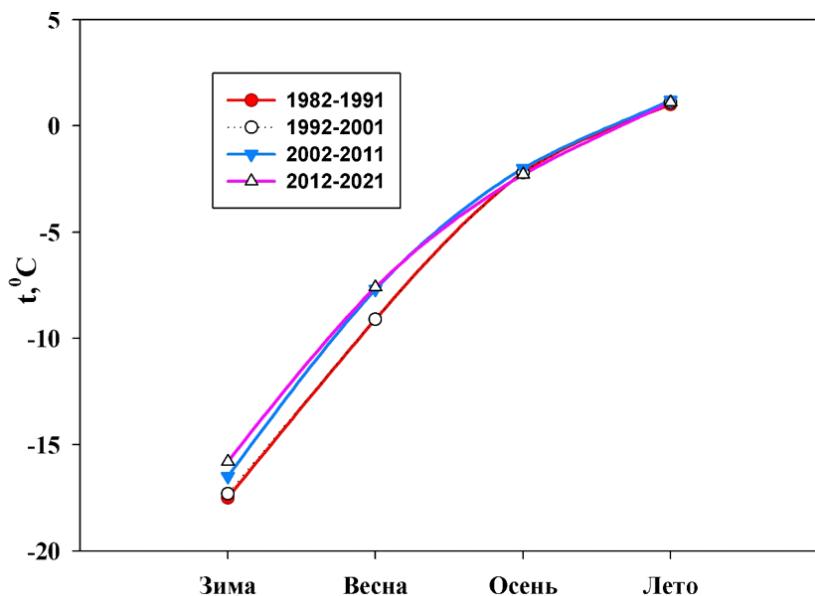
Среднее значение температуры за десятилетие в период двух последних десятилетий 2002-2011гг. (-8,80°C) и 2012-2021(-8,88°C) больше, чем двух предыдущих десятилетий 1982-1991гг (-9,82°C) и 1992-2001гг(-9,65°C). Увеличение температуры за последнее десятилетие относительно первого десятилетия для ледника Федченко составляет +0,85°C, что возможно связано с потеплением в холодный период, так как отличие в среднемесячных значениях в теплый период незначительно (рис.1).



**Рис.1. Месячные изменения температуры воздуха над ледником Федченко за 4 десятилетия**

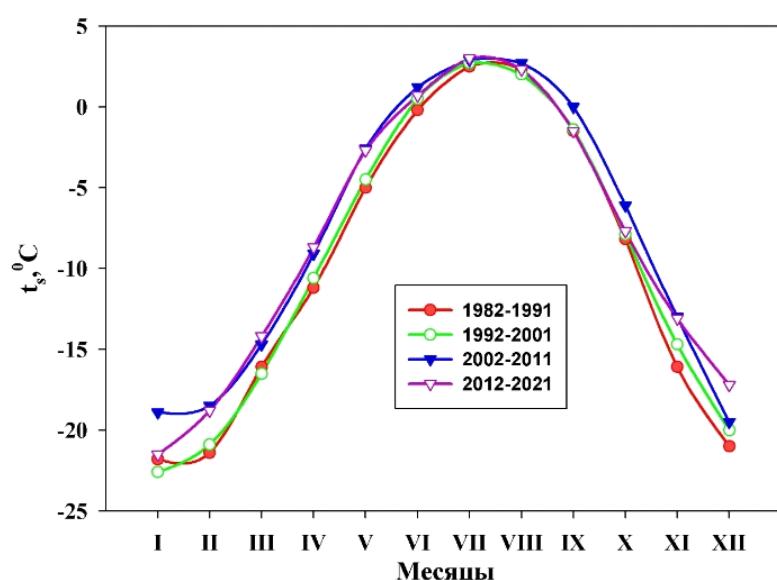
Сезонные изменения температуры воздуха над ледником Федченко за четыре десятилетия представлены на рис 2. Эти данные свидетельствуют о том, что вклад холодного сезона в потепление

климата над Федченко весьма заметен. При переходе от холодного до теплого периода разность температур для каждого десятилетия становится минимальной. (рис.2).



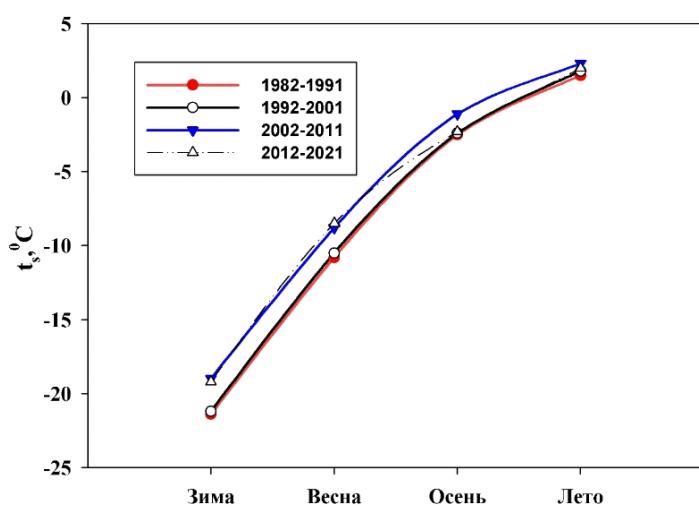
**Рис.2. Сезонные изменения температуры воздуха над ледником Федченко за 4 десятилетия**

Среднемесячные изменения температуры поверхности ледника Федченко (рис.3.) за четыре десятилетия указывают на заметную разницу температур вплоть до летних месяцев.



**Рис.3. Среднемесячные изменения температуры поверхности ледника Федченко за 4 десятилетия**

На рис.3 заметны высокие значения температур поверхности ледника в двух последних десятилетиях, что коррелируется с температурой над ледником. Расчет показывает, что коэффициент корреляции составляет  $r=0,852$ , то есть имеется значимая зависимость между двумя параметрами. Разница температур поверхности ледника в холодный период на порядок выше, чем в теплый период между десятилетиями, что оказывает влияние на ускоренное таяние ледника за последние четверть века.

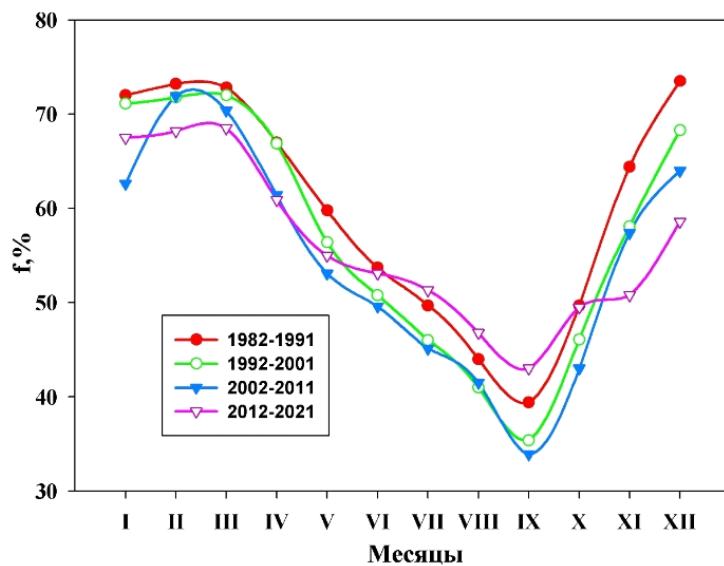


**Рис.4. Среднесезонные изменения температуры поверхности ледника Федченко за 4 десятилетия**

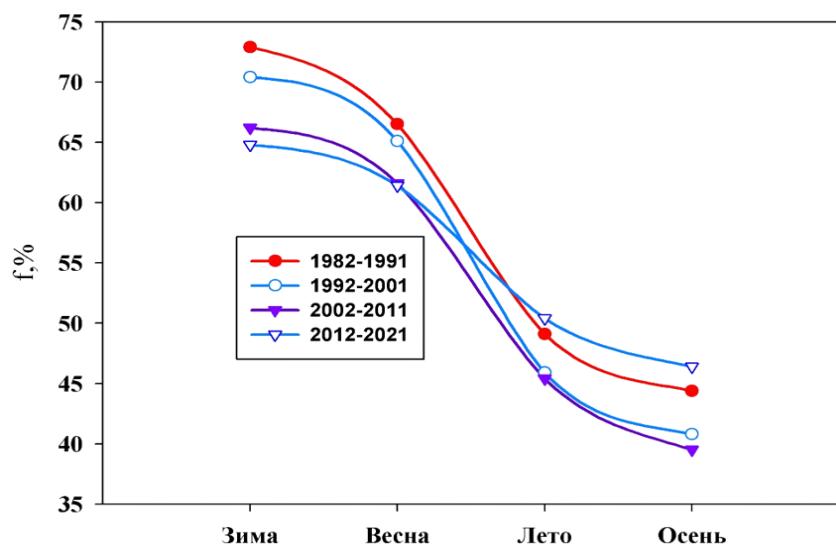
Среднесезонные изменения температуры поверхности ледника Федченко указывают на значительное отличие температуры за два последних десятилетия в холодный сезон. Однако, в период с 2002 по 2011 годы, по сравнению с другим тремя десятилетиями, температура поверхности ледника была заметно выше. По-видимому высокая сезонная температура в 2002-2011 гг внесла значительный вклад в ускорение таяния ледника Федченко.

Среднемесячные изменения относительной влажности воздуха над ледником Федченко за 4 десятилетия (рис.5) указывают на низкие значения в теплые месяцы и высокие в холодные. Характерно, что

значения относительной влажности воздуха над ледником Федченко за весь период низкие в сентябре и высокое в феврале. Во втором и третьем десятилетии значения относительной влажности воздуха намного ниже, чем в первом и четвертом десятилетии. Начиная с июня по сентябрь значения относительной влажности воздуха не превышают 50% характерные для пылевой мглы в долинах.

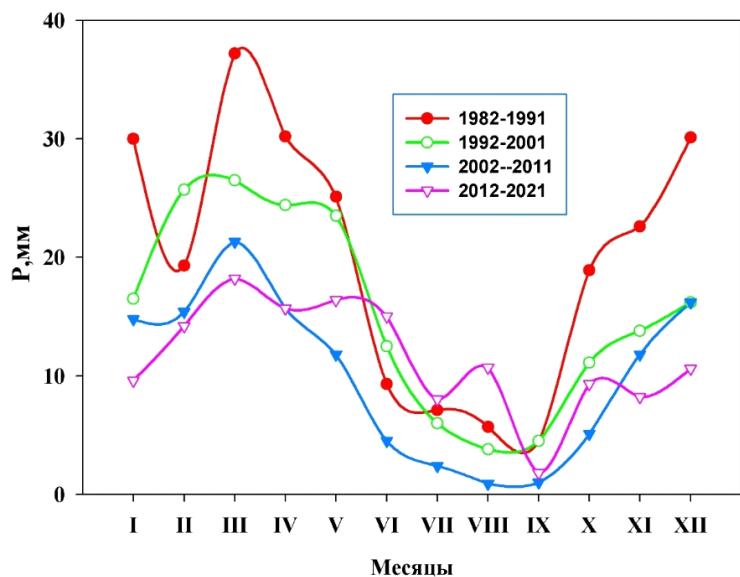


**Рис.5. Среднемесячные изменения относительной влажности воздуха над ледником Федченко за 4 десятилетия**



**Рис.6. Среднесезонные изменения относительной влажности воздуха над ледником Федченко за 4 десятилетия**

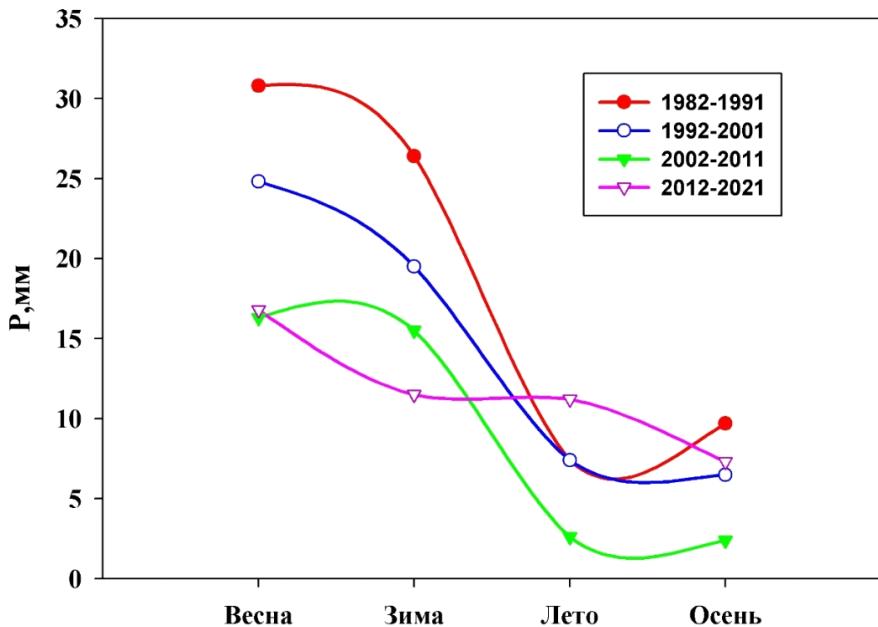
Среднесезонные изменения относительной влажности воздуха над ледником Федченко за 4 десятилетия (рис.6) свидетельствуют о сезонной разности значения для третьего десятилетия по сравнению другими. Явное отличие теплых сезонов и холодных, с низкими значениями для третьего десятилетия при этом наблюдается высокие значения относительной влажности для второго десятилетия в холодный сезон и низкие в теплый. А для четвертого десятилетия результат обратный. При этом в теплый период значение относительной влажности воздуха над ледником Федченко для всех десятилетий не превышает 50%.



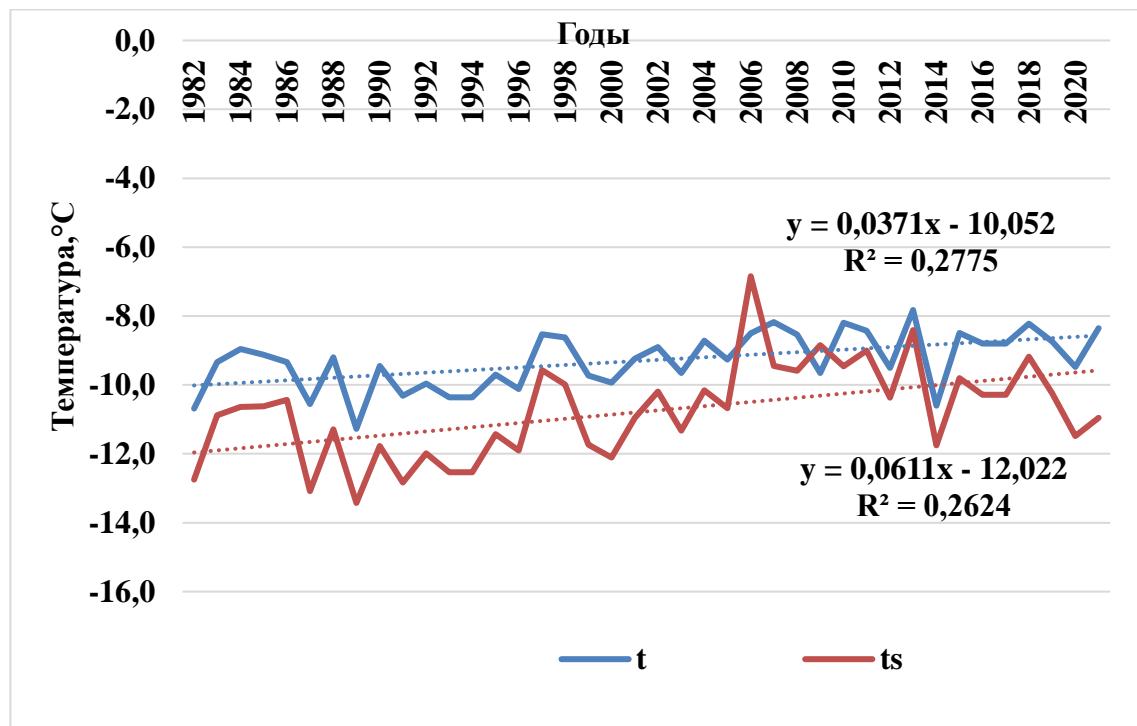
**Рис.7. Среднемесячные суммы осадки над ледником Федченко за 4 десятилетия**

Среднемесячные суммы осадки над ледником Федченко за 4 десятилетия (рис.7) показывают уменьшение осадков с июня по октябрь, самые низкие значения десятилетия 3<2<1<4 с максимумом в марте. Среднесезонные суммы осадков над ледником Федченко за 4 десятилетия (рис.8) за исключением четвертого десятилетия, где имеется максимум осадков весной и зимой, а минимум летом. В четвертом десятилетии зарегистрировано почти одинаковое

количество сумм осадков зимой и летом. Во втором и третьем десятилетии количество сумм осадков летом и осенью оказалось почти одинаковым.

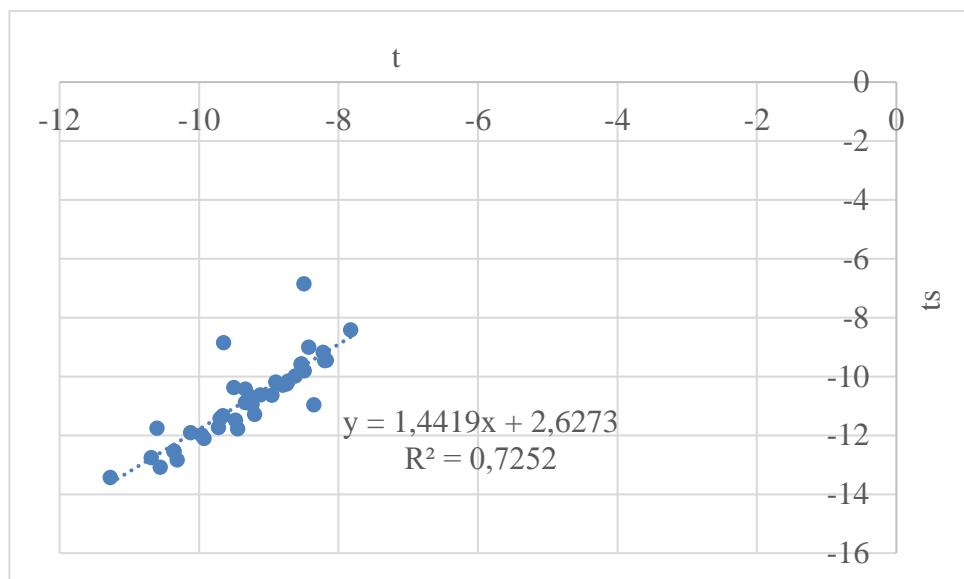


**Рис.8. Среднесезонные суммы осадков над ледником Федченко за 4 десятилетия**



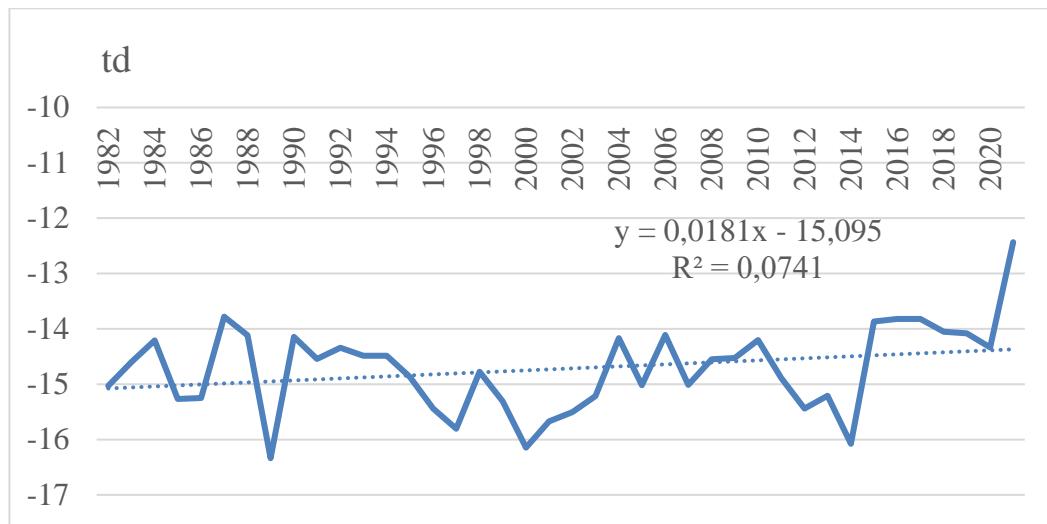
**Рис. 9. Межгодовые изменения температуры воздуха(t) и поверхности(ts) ледника Федченко в период 1982 - 2021гг.**

Межгодовые изменения температуры воздуха над ледником Федченко (рис.9), указывают на относительно теплые годы в ряде 2007 (-9,4°C), 2010(-8,2°C), 2013(-7,8°C), 2018(-8,2°C) и 2021(-8,4°C), холодные годы 1987 (-13,1°C), 1989 (-13,4°C), 1991 (-12,8°C) и 1993 (-12,5°C). Корреляция температуры поверхности ледника Федченко с температурой воздуха над ледником (рис.10) очень сильная ( $r=0,85$ ) и как видно из рис.9, за исключением 2006 года, можно констатировать максимумы и минимумы в значениях температуры поверхности ледника Федченко в исследуемый период.

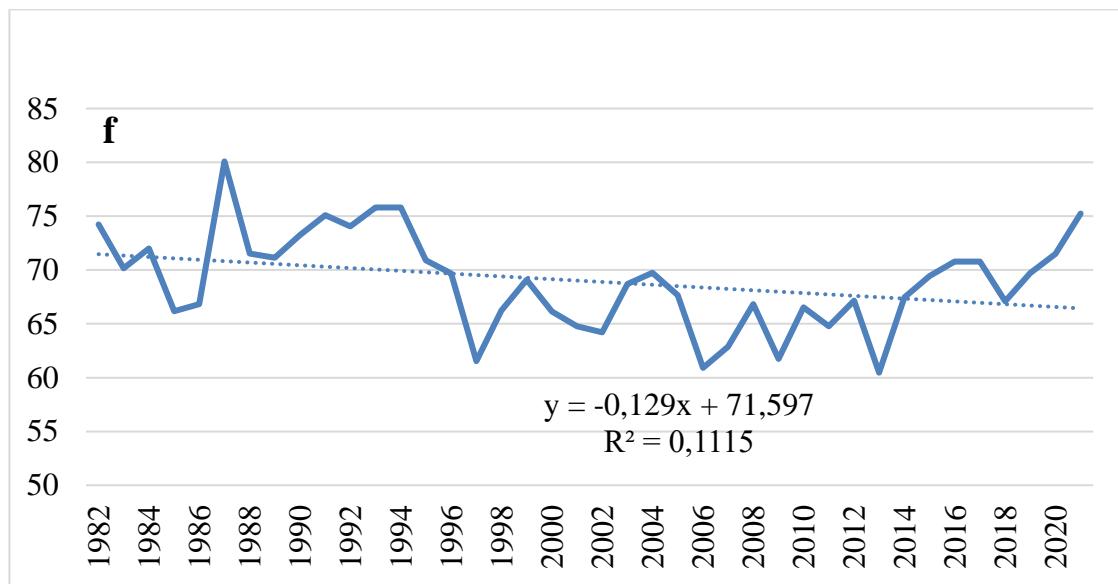


**Рис. 10. Корреляция между температурой воздуха( $t$ ) и поверхности( $t_s$ ) над ледником Федченко в период 1982-2021гг.**

Представленное межгодовое изменение температуры точки росы над ледником Федченко в период 1982-2021гг (рис.11) имеет максимумы в 1987,2015-2017 (-13,8°C) и 2021 (-12,4°C) и минимумы 1989(-16,3°C), 1997(-15,8°C), 2000 и 2014(-16,1°C). Корреляция температуры точки росы ледника Федченко с температурой воздуха над ледником очень слабая ( $r=0,14$ ).



**Рис. 11. Межгодовые изменения температуры точки росы над ледником Федченко в период 1982-2021гг.**



**Рис. 12. Межгодовые изменения относительной влажности воздуха над ледником Федченко в период 1982-2021гг.**

Относительная влажность воздуха над атмосферой ледника Федченко уменьшается (рис.12), особенно это заметно в период с 1996 по 2014г. Максимальная влажность 89% зарегистрирована в 1987г, 1991г (75,1%), а также 1993-1994 (75,8%) и 2021 (75,2%). Минимальная влажность 61,5% зарегистрирована в 1997г, 2006г (60,9%), а также 2009 (61,7%) и 2013(60,5%). Корреляция относительной влажности воздуха с температурой воздуха над ледником средняя ( $r=0,56$ ).

Одним из важных параметров для ледника является сумма месячных осадков и межгодового. Изменения данного параметра приведены за период 1982-2021гг. над ледником Федченко (рис.13). Если разделить этот период на два двадцатилетия, то в первом двадцатилетии сумма осадков значительно превышает его значения, чем во втором двадцатилетии. Максимальные суммы осадков зарегистрированы в 1987г (467,6мм), 1990г (418,9мм), 1987г (435,7мм) и 1993 -1994гг. (386,7мм). Минимальные суммы осадков установлены в 2000г (93,8мм), 2008-2009гг (95,9мм), 2012г (81,2мм) и 2013г. (40,8мм).

Как видно в исследуемый период значения суммы годовых осадков не превышают 470мм (1987г), а минимальные составляют 41мм (2013г.).

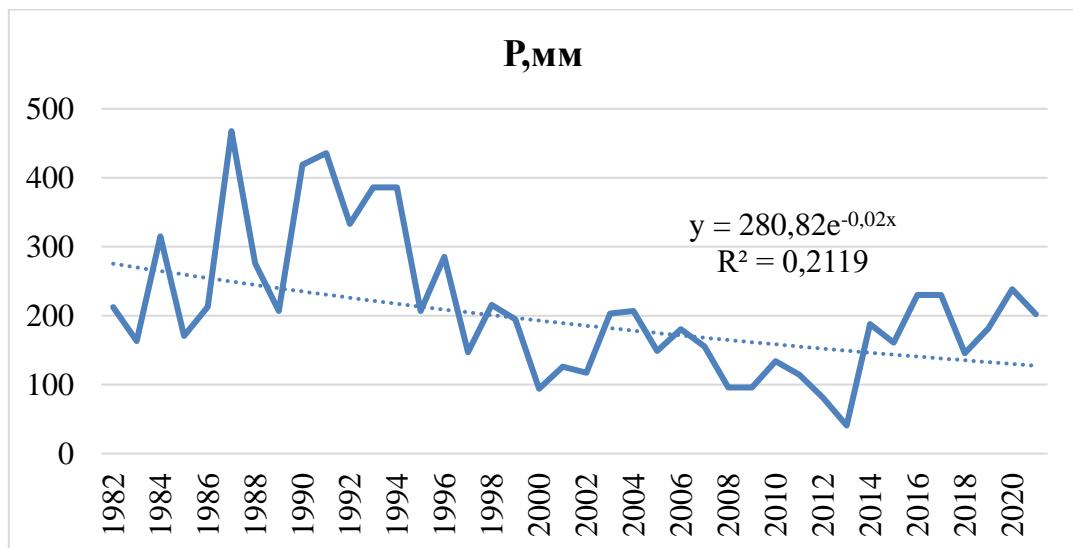
Расчет испарения по формуле

$$E_u=0.0018(25+\langle t \rangle)^2(100-\langle f \rangle)$$

где  $E_u$ -испаряемость за месяц, мм;

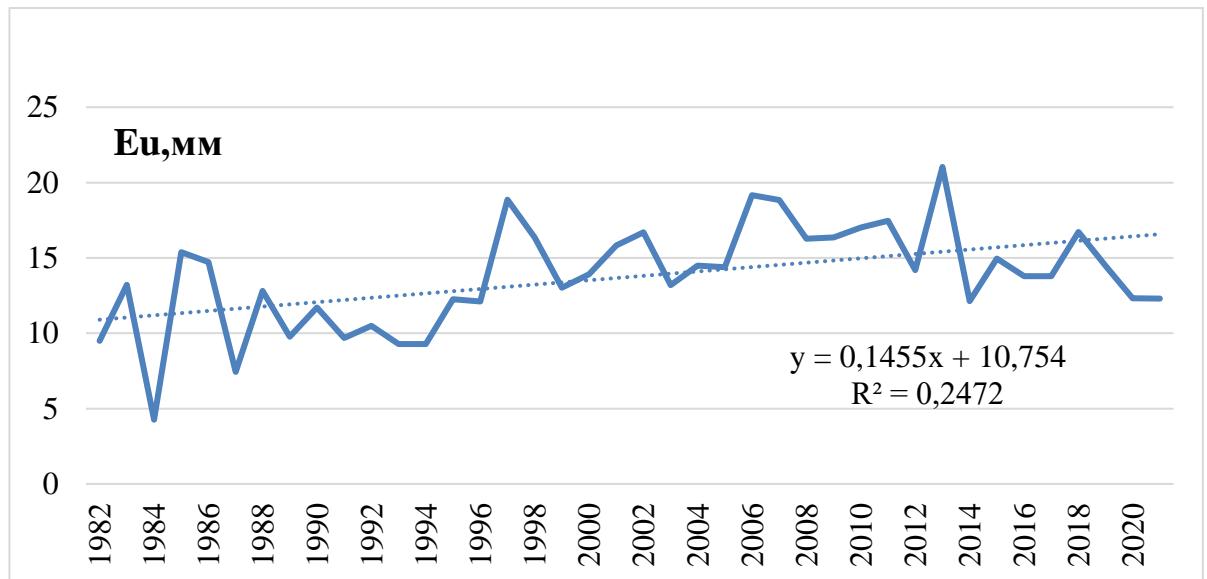
$\langle t \rangle$ -средняя температура за месяц,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\langle f \rangle$ -средняя относительная влажность за месяц, % ;



**Рис.13. Межгодовые изменения суммы осадков над ледником Федченко в период 1982-2021гг.**

Межгодовые изменения испарения над ледником Федченко в период 1982-2021гг. приведены на рис.14. В первом двадцатилетии максимальные испарения зарегистрированы в 1997г (18,86мм), а во втором двадцатилетии в 2013г.(21мм).

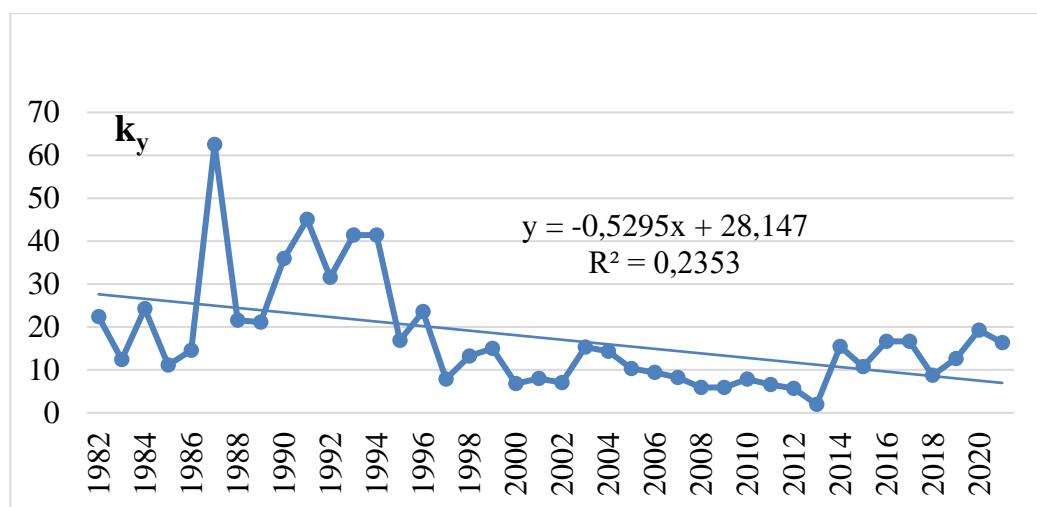


**Рис. 14. Межгодовые изменения испарений над ледником Федченко в период 1982-2021гг.**

Если разделить исследуемый период на два двадцатилетия, то анализ показывает, что во втором двадцатилетии осадки уменьшились в 1,96÷2,23 раза, а испарения 0,6÷0,9 раз. Температура воздуха в первом двадцатилетии варьировалась в пределах -11,5÷ -8,5°C, а во втором - 10,6÷ -7,8°C т.е., тренд значительно отличается между двумя двадцатилетиями. Коэффициент увлажнения определяется как отношение годовой суммы осадков к испаряемости за год. Этот показатель определяет, насколько хорошо данная территория обеспечена влагой, что очень важно для процессов жизнедеятельности. Коэффициент увлажнения  $k_y = P_u/E$  представлен на рис.15., имеет максимум 62,55 (1987г.) и минимум 1,94 (2013г.). Как видно из таблицы в исследуемый период над ледником Федченко всегда  $k_y > 1$ , то есть зона Федченко характеризуется избыточным увлажнением.

**Таблица 1.**  
**Значение коэффициента увлажнения в разных природных зонах.**

Значение коэффициента увлажнения в разных природных зонах		
Природные зоны	Значение коэффициента увлажнения	Степень увлажненности
Экваториальные леса, тайга, тундраа	$K_y \geq 1$	Избыточное увлажнение
Саванны, жестколистные леса	$K_y = \text{от } 0,8 \text{ до } 1,0$	Нормальное увлажнение
Степи	$K_y = \text{от } 0,3 \text{ до } 0,6$	Недостаточное увлажнение
Полупустыни	$K_y = \text{от } 0,3 \text{ до } 0,1$	Недостаточное увлажнение
Пустыни	$K_y \leq 0,1$	Недостаточное увлажнение

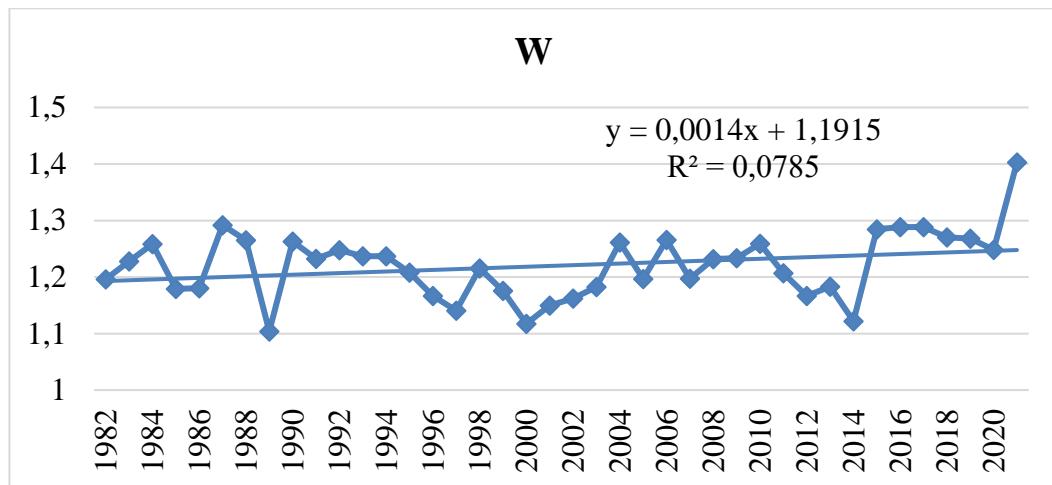


**Рис 15. Межгодовые изменения коэффициента увлажнения над ледником Федченко в период 1982-2021гг.**

Содержание водяного пара (рис.16) определяемой формулой Рейтана [8]

$$\ln(W) = 0,1102 + 0,0614 * T_d$$

над атмосферой ледника Федченко в исследуемый период варьировалось в пределе 1,1-1,4 см.

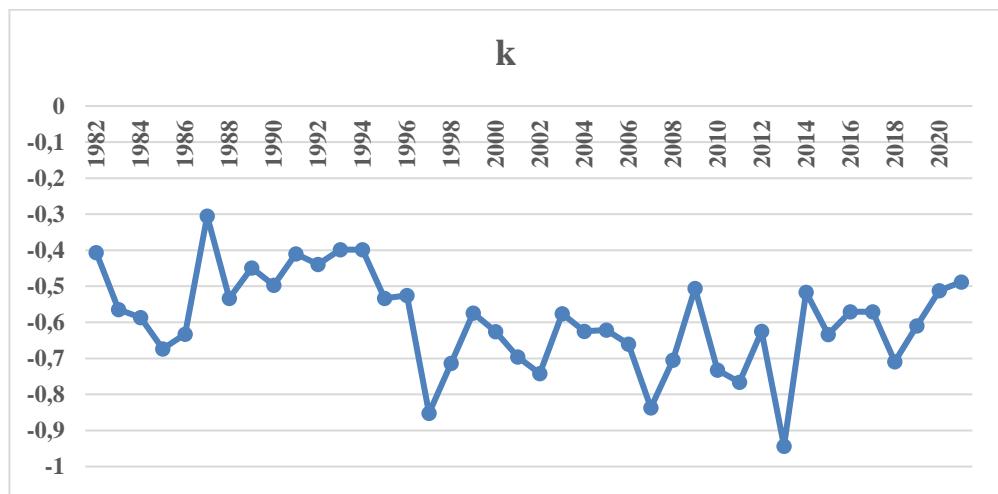


**Рис. 16. Межгодовые изменения водяного пара над ледником Федченко в период 1982-2021гг.**

Оценка биоклиматических условий выполнена на основе нового биометеорологического индекса – термогигрометрического коэффициента сухости воздуха (ТГК), предложенной в [9-12]:

$$k = (T - T_d) / T = \Delta / T$$

где  $T$  – температура воздуха (Кельвин);  $T_d$  – температура точки росы;  $T - T_d = \Delta$  – дефицит точки росы. Так как,  $k_0 < 1$  ( $-0.94 \div -0.3$ ) для исследуемого периода, то условия атмосферы ледника Федченко относятся к крайне неблагоприятным условиям теплоощущения.



**Рис. 17. Межгодовые изменения термогигрометрического коэффициента сухости воздуха над ледником Федченко в период 1982-2021гг.**

## **Заключение**

В среднемесячном изменении температуры над ледником Федченко наблюдается максимум в июле-августе для всех четырех десятилетий, низкие температуры исключительно в зимние месяцы: декабре - феврале. Увеличение температуры за последнее десятилетие относительно первого десятилетия для ледника Федченко составляет  $+0,85^{\circ}\text{C}$ , что возможно связано с потеплением в холодный период, так как в отличие от среднемесячных значений в теплый период потепление незначительно. Потепление климата над атмосферой ледника Федченко существенно вносит вклад холодный сезон. По-видимому высокие сезонные температуры в 2002-2011 гг внесли значительный вклад в ускоренное таяние ледника Федченко. Начиная с июня по сентябрь значения относительной влажности воздуха не превышает 50% характерное для пылевой мглы в долинах. Самые низкие значения  $Q3 < Q2 < Q1 < Q4$  десятилетия с максимумом в марте. Средне сезонные суммы осадков над ледником Федченко за 4 десятилетия за исключением четвертого десятилетия имеют максимум осадков весной и зимой, а минимум летом.

В четвертом десятилетии зарегистрировано почти одинаковое количество осадков зимой и летом. Во втором и третьем десятилетии количество осадков летом и осенью оказалось почти одинаковой. Межгодовые изменения температуры воздуха над ледником Федченко, указывают на относительно теплые годы в ряде 2007 ( $-9,4^{\circ}\text{C}$ ), 2010 ( $-8,2^{\circ}\text{C}$ ), 2013 ( $-7,8^{\circ}\text{C}$ ), 2018 ( $-8,2^{\circ}\text{C}$ ) и 2021 ( $-8,4^{\circ}\text{C}$ ), холодные годы 1987 ( $-13,1^{\circ}\text{C}$ ), 1989 ( $-13,4^{\circ}\text{C}$ ), 1991 ( $-12,8^{\circ}\text{C}$ ) и 1993 ( $-12,5^{\circ}\text{C}$ ).

Корреляция температуры поверхности ледника Федченко с температурой воздуха над ледником очень сильная ( $r=0,85$ ). Разделив исследуемый период на два двадцатилетия анализ показывает, что во втором двадцатилетии осадки уменьшились в 1,96-2,23 раз, а испарения

0,6-0,9. Температура воздуха в первом двадцатилетии варьировалась в пределах  $-11,5\text{--}8,5^{\circ}\text{C}$ , а во втором  $-10,6\text{--}7,8^{\circ}\text{C}$  т.е., тренд значительно отличается между двумя двадцатилетиями. Коэффициент увлажнения имеет максимум 0,516 (2013г.) где зарегистрирована минимальная годовая суммы осадки 41мм (2013г.). и максимальная сумма испарения 21мм.

## ЛИТЕРАТУРА

1. З. Махмудов, И. Бекмирзаева, И. Бубенко, С.Жакенова, В. Новиков, А. Поварич, Д.Адылова Изменение климата в Таджикистане /Региональный экологический центр Центральной Азии, 2020г.
2. Альфред Дибольд. Влияние таяния ледников на состояние водных ресурсов в Центральной Азии. Итоговый отчет по семинару, проведенному в г.Алматы, Казахстан, 11-12 апреля 2013 г. РЦПДЦА: Ашхабад, 2013.
- 3.А.К.Каюров, С.Ф.Абдуллаев, Д.А.Каюрова, Н.Х.Миникулов Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов в почвах озер ледникового питания// Известия АН РТ. 2020, №2(179), стр.20-25.
- 4.Каюров А., Абдуллаев С.Ф., Миникулов Н.Х., Каюрова Д.А. Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов в озерах Каракуля и Искандеркуля // Ученые записки ХГУ им.акад Б.Гафурова. Естественные и эконом. науки. - Худжанд, 2020, №3(54), с.51-57.
- 5.А.К.Каюров, С.Ф.Абдуллаев, Д.А.Каюрова, Содержание тяжелых металлов в донных отложениях реки Варзоб// Известия АН РТ. 2020, №4(181), стр.129-136.
- 6.А.К.Каюров, С.Ф.Абдуллаев, Д.А.Каюрова, Статистический анализ содержания тяжелых металлов и изотопов в составе атмосферного аэрозоля и почв высокогорных зон Таджикистана/ Вестник ТНУ 2020, №4, с.147-153.
7. Интернет ресурс: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> [дата обращения 21.02.2023г ]
8. Reitan C.H. Surface Dew Point and Water Vapor Aloft/ J. Applied Meteorology,1963, 2, 776-779.
9. Petrov Yu.V., Abdullaev A.K. On the problem of air dryness estimation. Russian Meteorology and Hydrology, Volume 35, Issue 10, – PP. 715-719.

- 10.Petrov Yu.V., Ahmedova M.Sh. Bioclimatic conditions of Uzbekistan. Journal "News of the Geographical Society of Uzbekistan", 2019. V. 55, - PP. 206-209. (In Russian)
11. Kholmatjanov, B. M., Petrov, Y. V., Abdikulov, F. I. ugli A., Abdikulov, F. I. ugli A., Abdikulova, M. R. kizi, Saypiddinov, Z. F. ugli, Makhmudov, M. M., Khalmatjanov, F. M., & Safarov, F. B. (2020). Bioclimatic Resources and Their Consideration for Tourism Development in Selected Destinations of Uzbekistan. Indonesian Journal of Law and Economics Review, 9, 10.21070/ijler.2020.V7.481. <https://doi.org/10.21070/ijler.2020.V7.481>.
12. Холматжанов Б.М.,Петров Ю.В.,Абдикулов Ф.И., Абдикулова М.Р., Сайпидинов З.Ф., Сафаров Ф.Б., Махмудов И.М., Абдулахатов Э.И. О новом подходе к оценке биометеорологических условий комфортности для туристической отрасли / Матер. межд. науч. прак. конф. «Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ», посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета. 22-24 октября 2020 г. - С-Пб., 2020. -С.264-265.

А. Қ. ҚАЮМОВ, М. Қ. АБДУЛЛОЕВА, Д. А. ҚАЮМОВА,

С. Ф. АБДУЛЛОЗОДА

**ТАҒИЙРЁБИИ ИҚЛИМ ДАР АТМОСФЕРАИ ПИРЯХИ ФЕДЧЕНКО ДАР ДАВРАИ  
СОЛҲОИ 1982-2021.**

*Муассисаи давлатии илмии «Маркази омӯзиши пиряҳои Академияи миллии илмҳои  
Тоҷикистон»*

Дар мақола тағиyrёбии иқлим дар атмосфераи пиряхи Федченко дар давраи солҳои 1982-2021 бо истифода аз маълумоти моҳвораии NASA таҳлил карда шудааст. Натиҷаҳои таҳлили тағиyrоти вақтӣ (моҳона, мавсимиӣ ва байнисолӣ) барои ҳарорати ҳаво, ҳарорати рӯйи замин, ҳарорати нуқтаи шабнам, намии нисбии ҳаво, боришот, бухоршавӣ ва буғи об дар болои атмосфераи пиряхи Федченко арзёбӣ карда шудааст. Коэффициентҳои намнокӣ ва индекси биометеорологӣ-коэффициенти термогигрометрии хушкии ҳаво ҳисоб карда шуданд. Баландшавии ҳарорат дар даҳсолаҳои охир нисбат ба даҳсолаи аввал барои пиряхи Федченко  $+0,85^{\circ}\text{C}$ -ро ташкил медиҳад, ки эҳтимолан аз гармшавии фасли сармо вобаста аст, зоро фарқияти арзишҳои миёнаи моҳона дар давраи гармӣ ночиз аст. Фасли хунук ба гармшавии иқлим дар болои атмосфераи пиряхи Федченко мусоидат кардааст. Эҳтимол аст, ки ҳарорати баланди мавсимиӣ дар солҳои 2002 - 2011 дар обшавии босуръати пиряхи Федченко саҳми назаррас дошта бошад.

**Калидвожаҳо:** пиряхи Федченко, ҳарорати ҳаво, ҳарорати рӯйи замин, намии нисбӣ, ҳарорати нуқтаи шабнам, боришот, бухоршавӣ ва буғи об.

A.K. KAYUMOV, M.K. ABDULLOEVA, D.A. KAYUMOVA,

S.F. ABDULLOZODA

## **CLIMATIC CHANGES ABOVE THE ATMOSPHERE OF THE FEDCHENKO GLACIER FOR THE PERIOD 1982-2021**

*State Scientific Institution "Center for the Research of Glaciers of the National Academy of Sciences"*

*The article analyzes climate changes above the atmosphere of the Fedchenko glacier for the period 1982-2021, using NASA satellite data. The results of the analysis of temporal changes (monthly, seasonal and interannual) in the values of air temperature, surface temperature, dew point temperature, relative air humidity, precipitation, evaporation and water vapor content above the atmosphere of the Fedchenko glacier are presented. The coefficients of humidification and the biometeorological index—the thermohygrometric coefficient of air dryness—were calculated. The increase in temperature over the last decades relative to the first decade for the Fedchenko glacier is +0.85°C, which is possibly due to warming in the cold period, since the difference in average monthly values in the warm period is insignificant. The cold season significantly contributes to climate warming over the atmosphere of the Fedchenko glacier. It is possible that high seasonal temperatures in 2002-2011 made a significant contribution to the accelerated melting of the Fedchenko glacier.*

**Keywords:** Fedchenko glacier, air temperature, surface temperature, relative humidity, dew point temperature, precipitation, evaporation and water vapor content.

**КРИОСФЕРА**  
**МУАССИСАИ ДАВЛАТИИ ИЛМИИ “МАРКАЗИ ОМЎЗИШИ**  
**ПИРЯХҲОИ АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ**  
**ТОЧИКИСТОН” № 2 (6), 2022 с.**

**ГЛЯТСИОЛОГИЯ**

УДК 551.324.63

А. Қ. ҚАЮМОВ, М. ДАВЛАТОВА, Х. САИДЗОДА<sup>1</sup>

**ҲОЛАТИ ПИРЯХҲОИ ҲАВЗАИ ДАРЁИ ВАНҖ ДАР ШАРОИТИ**  
**ТАҒИЙРЁБИИ ИҚЛИМ**

*Муассисаи давлатии илмии “Маркази омӯзиши пиряҳҳои*  
*Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон”*

**Фишурда**

*Ҳадафи таҳқиқот арзёбии ҳолати пиряҳҳо дар ҳавзаи дарёи Арнавад дар давраи солҳои 1994 - 2022 мебошад. Барои ин тасвирҳои моҳвораи Landsat5 (TM), Landsat7 (ETM+), Sentinel 2A ва барномаи Arcgis10.5 истифода шуданд. Таҳлилҳо нишон доданд, ки масоҳати пиряҳҳои ҳавзаи дарёи Арнавад 2,14 км<sup>2</sup> (20%) кам шудааст. Пиряҳҳои № 20, № 22, № 23, № 24 ба ғуруҳи пиряҳҳои набзонӣ доҳил карда шудаанд. Махсусан пиряҳи № 20 аз соли 2005 то соли 2011 дар ҳолати набзии қарор дошт.*

**Калидвожаҳо:** коҳишёбии пиряҳҳо, омӯзиши зондиронӣ - фосилавӣ, тағийрёбии иқлим, обнокии дарёи Ванҷ.

**Муқаддима**

Яке аз масъалаҳои мубрами замони мусоир ҳолати номатлуби пиряҳҳо дар кураи Замин дар шароити гармшавии глобалиӣ - умумисайёравӣ мебошад. Муқаррар карда шудааст, ки ҳарорати ҳаво дар кураи Замин дар тӯли асри XX ба ҳисоби миёна тақрибан 0,6°C баланд шудааст [7]. Ин вазъият ба пайдоиш, захирашавӣ ва таҳаввули пиряҳҳо беасар намемонад. Гарм шудани ҳарорати ҳаво захира шудани барфҳо ва ташаккули пиряҳҳоро коҳиш медиҳад. Имрӯзҳо об шудани пиряҳҳо нисбат ба захирашавӣ бартарӣ дорад, ки он боиси кам шудани масоҳат ва захираи онҳо мегардад.

<sup>1</sup> *Суроға барои мукотиба:* Қаюмов Абдулҳамид Қаюмович, Давлатова Мунзифа Шукришоевна. 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 33, Муассисаи давлатии илмии “Маркази омӯзиши пиряҳҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон”.

*E-mail: abdkaumov@mail.ru; munzifadavlatova95@gmail.com*

Аз ин рӯ, на танҳо Тоҷикистон, балки тамоми кишварҳои Осиёи Марказӣ зери таъсири тағйири иқлими дар шакли баландшавии ҳарорат, обшавии пиряҳҳо, тағйирёбии мачрои дарё қарор доранд [4]. Пиряҳҳо обанборҳои табиии оғаридани табиат мебошанд, ки ҳаёти иҷтимоии бисёр ноҳияҳо аз онҳо вобаста мебошад. Баъди солҳои 1990 қариб ки мониторинг ва омӯзиши пиряҳҳои ҳавзаи дарёи Ванҷ омӯхта нашудааст. Ягона маълумоте, ки оид ба дарёи Ванҷ аст, ин дар китоби профессор А. Қ. Қаюмов [5]. Бинобарин, омӯзиш ва мониторинги пиряҳҳои ҳавзаи дарёи Ванҷ аҳаммияти назаррас дорад.

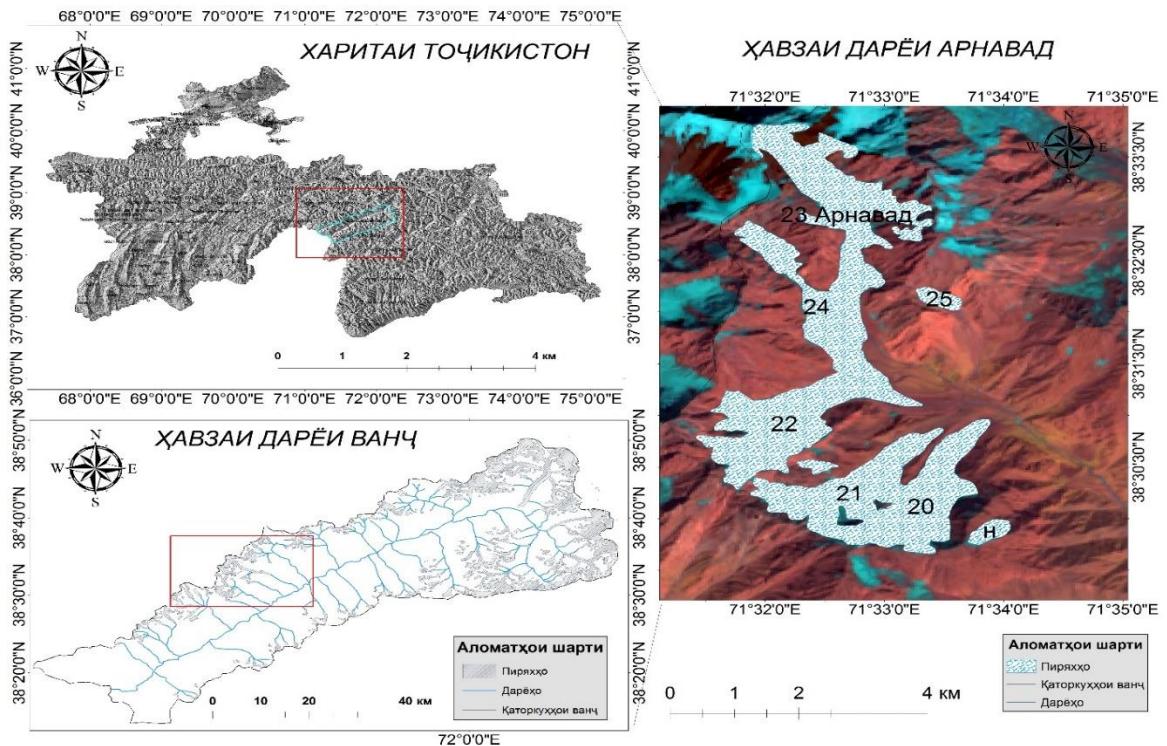
**Мақсади омӯзиш** - муайян намудани ҳолати имрӯзai пиряҳҳои ҳавзаи дарёи Арнавад дар шароити тағйирёбии иқлими.

### **Минтақаи омӯзиш**

Дарёи Ванҷ шоҳоби рости дарёи Панҷ ба ҳисоб меравад. Водии Ванҷ аз қисмати шимолӣ то Дарвоз, аз ҷануб то қаторкӯҳҳои Ванҷ, аз шарқ бо қаторкуҳи Академияи илмҳо, ки қуллаи аз ҳама баланд дар Помир мебошад тул қашидааст. Дарозии дарёи Ванҷ 103 км, резиши он-1083 м, нишебии ҳавза - 1920 км<sup>2</sup> ва баландии миёнаи ҷенкардашудаи ҳавза 3780 м аз сатҳи баҳр мебошад. Ғизогирии дарё аз барфу пиряҳ сарчашма гирифта, сарфи миёнаи он 55,8 м<sup>3</sup> дар як сония, сарфи ҳадди аксар то 300 м<sup>3</sup> дар як сония дар моҳи июл ба мушоҳида расида, пасту баландшавии сатҳи он дар шаҳраки Ванҷ дар масофаи 90 км дур аз саргаш то 2 м мебошад [5].

Дар ҳавзаи дарёи Ванҷ 291 пиряҳҳои хурду бузург мавҷуд мебошанд, ки масоҳати умумии онҳо 353,9 км<sup>2</sup> ташкил менамоянд, ки аз ин 47 пиряҳ ба гуруҳи пиряҳҳои набзони дохил мешаванд. Пиряҳҳои калонтарини ҳавзаи дарёи Ванҷ пиряҳҳои Ҷамъияти географияшиносони Русия, Абдуқаҳҳор, ва Хирсон мебошанд. Ҳамаи пиряҳҳои калонтарини ҳавзаи дарёи Ванҷ дар як қатор қаторкӯҳҳои Академияи илмҳо бо қаторкӯҳҳои Дарвоз, Ванҷ ва Язғулом воқеъ гардидаанд [3].

Ҳавзай дарёи Арнавад яке аз шохобҳои шимолии дарёи Ванҷ мебошад, ки дар нишебии ҷанубии қаторкӯҳҳои Дарвоз ҷойгир шудааст. Дар ҳавзай мазкур шаш пиряҳи калон ва як пиряҳи нуқтагӣ мавҷуд аст. Нуқтаи баландтарини пиряҳҳои ҳавзай дарёи Арнавад, ки дар қуллаи пиряҳи Арнавад воқеъ гардидааст ба 6083 метр мерасад. Шакли морфологӣ ва мавқеи географии пиряҳҳо дар ҳавза муҳталиф аст.



**Расми 1. Пиряҳҳои ҳавзай дарёи Арнавад**

### Методология ва усулҳои омӯзиш

Барои муайян намудани масоҳати пиряҳҳои ҳавзай дарёи Арнавад аз Феҳристи пиряҳҳои ИҶШС истифода намуда, ба воситаи барномаи Google Earth Pro пиряҳҳоро аз моҳвора назорат бурда, рақамгузорӣ намудем. Бо истифода аз сомонаи earthexplorer.usgs.gov тавонистем, ки аксҳои фосилавии моҳвораҳои Landsat – 5 TM, Landsat 1- 7, Landsat 8-9OLI ва Sentinel 2A - ро аз соли 1994 то соли 2022 дастрас намудем. Аксҳо аз санаи 10 август то 20 сентябр аксбардорӣ шудаанд. Дар ин давра раванди ғизогирӣ ба охир расида, боришоти саҳти атмосферӣ ба қайд гирифта намешавад ва барфҳои рӯйи пиряҳҳо об шуда, майдони пиряҳҳо дақиқ аксбардорӣ мешаванд. Тасвирҳои

борбардорӣ кардашударо дар барномаи ArcGIS 10.5 гузошта, масоҳати пиряҳҳоро дар давраи солҳои 1994, 2000, 2005, 2011, 2016 ва 2022 муайян намудем.

## Чадвали 1

### Рӯйхати канали моҳвораҳо

Landsat – 5LT		Landsat 1– 7 ETM		Sentinel-2a MSI	
Рақами канал	Дарозии мавҷҳо	Рақами канал	Дарозии мавҷҳо	Рақами канал	Дарозии мавҷҳо
3 (Red)	0.63 – 0.69	3 (Red)	0.63 – 0.69	4 (RED)	0,645-0,683
4 (NIR)	0.76 – 0.90	4 (NIR)	0.76 – 0.90	8 (NIR)	0,763-0,908
5 (SWIR)	1.55 – 1.75	5 (SWIR)	1.55 – 1.75	11 (SWIR)	1,542-1,685

Барои муайян кардани сабабҳои ақибнишини пиряҳҳо маълумотҳои обу ҳаворо аз пойгоҳҳои наздиктарини обуҳавошиносӣ таҳлил кардан мумкин аст аст. Аз ин рӯ, маълумот дар бораи ҳарорати миёнаи моҳонаю солонаи ҳаво, боришотро аз пойгоҳҳои обуҳавосанҷии дар ҳудуди ноҳияи Ванҷ воқеъ гардидаанд, истифода намудем. Станцияи обуҳавосанҷии Хумроғӣ, ки дар поёни дарёи Ванҷ дар наздикии минтақаи таҳқиқотӣ воқеъ гардида аст, ҳамасоата маълумоти дақиқ аз қабили ҷараёни об, боришот, ҳарорати ҳаво, намии нисбӣ ва радиатсияи натиҷаҳоро ҷамъоварӣ мекунад. Ин маълумотҳо барои мушоҳидаҳои пай дар пайи тадқикоти гидрологӣ ва метеорологӣ нақши муҳим мебозанд.

### Иқлими минтақа

Шароити иқлими ноҳияро релефи баланди мутлақи минтақа ва таъсири атмосфераи озод муайян мекунад [6]. Амплитудаи максималии баландшавӣ (то 7000 м) барои қаторкӯҳҳои Академияи илмҳо, маҳсусан барои қуллаи Исмоили Сомонӣ (собиқ Коммунизм) ва қуллаи пиряҳи Гармо хосанд. Қуллаҳои номбурда бо баландии хос ва релефи амиқ яке аз

марказҳои асосии пиряҳҳои бузурги қўҳистон дар замони муосир ба ҳисоб мераванд [2].

Вазъи метереологии ҳавзай дарёи Ванҷ тавассути маълумоти пойгоҳҳои метереологии Хумроғӣ омӯхта мешавад. Аз ин рӯ, мо метавонем барои маълумоти дақиқ аз пойгоҳи метеорологии Хумроғӣ истифода барем. Пойгоҳи мазкур дар баландии 1736 метр аз сатҳи баҳр қарор дорад.

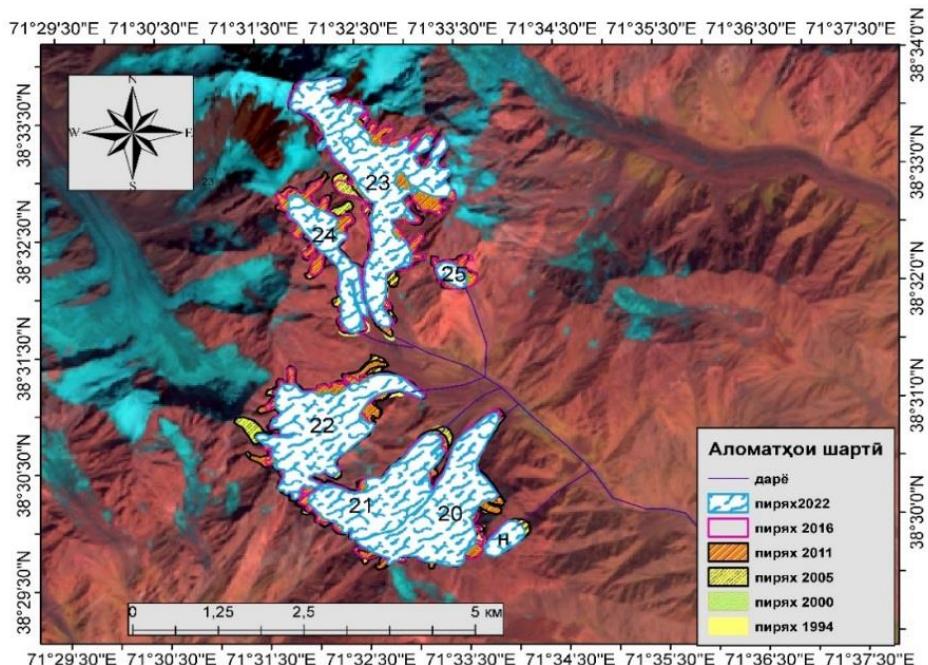
**Ҳарорати ҳаво.** Дар тамоми минтақаи Ванҷ ҳарорати ҳаво вобаста ба баландии ҷойгиршавии пиряҳҳо тағиیر меёбад. Ҳарорати миёнаи солонаи ҳаво дар баландии 3000 - 4000 метр аз 0 то  $-2^{\circ}\text{C}$  мерасад. Ҳарорати пасттарини ҳаво ба моҳи январ ва ҳарорати баландтарини он ба моҳи июл мувофиқ меояд. Аммо дар минтақаи Помири Ғарбӣ он метавонад ба моҳи август рост ояд [6]. Дар моҳи январ ҳарорати миёнаи шабонарӯзии ҳаво аз  $-12$  то  $-18^{\circ}\text{C}$  тағиир меёбад.

Бо истифода аз маълумоти метереологии Агентии обуҳавошиносӣ муайян кардан мумкин аст, моҳи гармтарини минтақа ба июл ва моҳи сардтарин ба январ мувофиқ меояд, ки ҳарорати миёнаи солонаи ҳаво дар солҳои 2018 ба  $13,9^{\circ}\text{C}$ , 2019 ба  $13,5^{\circ}\text{C}$ , 2020 ба  $13,4^{\circ}\text{C}$  ва 2021 ба  $13,8^{\circ}\text{C}$  баробар гардидааст. Ин аз он шаҳодат медиҳад, ки ҳарорати миёнаи солонаи ҳаво мувофиқ ба пойгоҳи метереологии Хумроғӣ аз соли 2018 то 2021  $0,1^{\circ}\text{C}$  паст гардидааст.

**Боришот.** Ҳарорати пасти баландкуҳҳои қад-қади қаторкуҳҳои Дарвоз, Ванҷ, Язгулом ва Академияи илмҳо барои боришоти саҳт мусоид аст. Миқдори асосии боришот дар минтақаи Ванҷ асосан ба моҳҳои март ва апрел мувофиқ меояд.

## Натиҷа

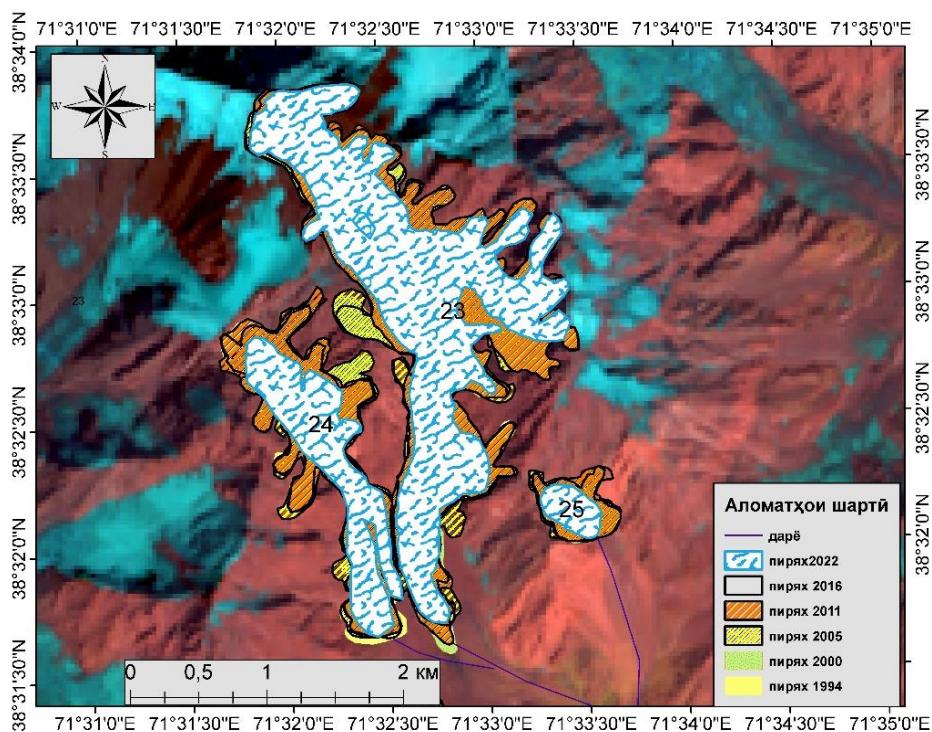
Мувофиқи маълумоти Фехристи пиряҳҳои ИЧШС соли 1977 дар ҳавзай дарёи Арнавад 6 пиряҳ ва инчунин 1 пиряҳи нуқтагӣ ба қайд гирифта шудааст, ки масоҳати умумии онҳо  $10,5 \text{ km}^2$  мебошад, аз рӯйи таҳқиқоти навбатӣ дар давраи соли 2022 масоҳати онҳо ба  $8,4 \text{ km}^2$  расидааст. Инчунин дар ҳавзай мазкур пиряҳҳои набзонӣ бо рақами № 20, № 22, № 23, № 24 дидо мешавад. Мавқеи ҷойгиршавии пиряҳҳои ҳавзай дараи Арнавад асосан Шимол - Шарқ, Шарқ, Ҷануб - Шарқ ва Ҷануб буда, шакли морфологии пиряҳҳо водигӣ, водигии мураккаб ва карравии овезон мебошанд.



**Расми 2. Коҳишёбии масоҳати пиряҳҳои ҳавзай дарёи Арнавад аз соли 1994 – 2022. Таsvir аз моҳвораи Landsat-09 аз сомонаи (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) гирифта шудааст**

Пиряҳи № 23 пиряҳи калонтарини ҳавзай дараи Арнавад ба шумор рафта, дар қисмати ҷанубии ҳавзай дарёи мазкур ҷойгир мебошад. Намуди морфологии пиряҳ водигӣ буда, масоҳати он  $2 \text{ km}^2$  ва дарозиаш  $5,5 \text{ km}$  - ро ташкил дода, қисмати забонаи пиряҳ дар масофаи  $0,3 \text{ km}$  бо марена пӯшида шудааст [3]. Нуқтаи баландтарини ҷойгиршавии пиряҳ дар баландиҳои 6040 метр ва қисмати забонаи он дар баландиҳои 4130 м воқеъ мебошад.

Масоҳати пиряҳи Арнавад дар солҳои 1994 –3,1 км<sup>2</sup>, 2000 – 3,2 км<sup>2</sup>, 2005-3,4 км<sup>2</sup>, 2011 –2,1 км<sup>2</sup>, 2016-3,2 км<sup>2</sup> ва дар соли 2022 - 2,5 км<sup>2</sup> -ро ташкил менамояд. Аз рӯйи маълумоти Феҳристи пиряҳҳои набзонӣ давомнокии набзиши забонаи пиряҳ қариб тули 1-5 солро дар бар гирифта, охирон набзиши забонаи пиряҳ дар соли 1972 ба қайд гирифта шуд. Пиряҳ ба гурӯҳи дуюми пиряҳҳои набзонӣ доҳил мегардад аз рӯйи таҳқиқоти навбатӣ аз соли 1994 то соли 2005 дар ҳолати набзонӣ қарор дошта, забонаи пиряҳ ба масоҳати 300 метр пеш рафтааст. Соли 1972 дарозии пиряҳ 4,9 км буда, соли 2022 4,3 км ро ташкил менамуд. Масоҳати пиряҳи Арнавад аз соли 2011 то соли 2022 дар ҳолати муқаррарӣ қарор дошта, ҳоло забонаи пиряҳ ба масоҳати 180 метр коҳиш ёфтааст.



**Расми 3. Коҳишёбии масоҳати пиряҳи №23 дар барномаи Аргис 10.5) аз соли 1994 – 2022. Таасир аз моҳвораи Landsat-09 аз сомонаи (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) гирифта шудааст**

Пиряҳи № 23 на танҳо аз қисмати забона, балки аз тамоми паҳлӯ коҳиш ёфтааст. Тибқи таҳқиқоти зондиронии фосилавӣ забонаи пиряҳҳои

№23 ва № 24 дар соли 1994 бо ҳам часпида, аз соли 2011 дар ҳолати чудошавӣ қарор гирифтаанд, ки то соли 2022 аз ҳам канда шудаанд (расми 3).

**Пиряхи набзонии № 24** дар қисмати ҷанубу шарқӣ ҳавзаи дараи Арнавад ҷойгир буда, намуди морфологиаш водигии мураккаб мебошад. Аз рӯйи маълумоти Феҳристи пиряҳҳои набзонӣ давомноки набзиши забонаи пиряҳ қариб тули 1-5 солро дар бар гирифта, охирон набзиши забонаи пиряҳ дар соли 1972 ба қайд гирифта шудаст [3]. Пиряҳ ба ғурӯҳи дуюми пиряҳҳои набзонӣ дохил мегардад. Дар натиҷаи тағйирёбии иқлими ва боришоти ками атмосферӣ дар пиряҳ набзиш ба қайд гирифта нашуда, пиряҳ аз тамоми паҳлӯ коҳиш ёфтааст. Масоҳати пиряҳ дар соли 1994-1,1 км<sup>2</sup>, 2000-0,21 км<sup>2</sup>, 2005-0,24 км<sup>2</sup>, 2011-1,1 км<sup>2</sup>, 2016-1,1 км<sup>2</sup> ва дар соли 2022- 0,7 км<sup>2</sup> – ро ташкил менамояд. Масоҳати пиряҳ аз соли 1994 то соли 2022 ба ҳаҷми 33% коҳиш ёфтааст (расми 3).

## Ҷадвали 2

### Нишондоди масоҳати пиряҳҳои ҳавзаи дараёи Арнавад дар давраи солҳои 1994 - 2022. 1- (\*) пиряҳҳои набзонӣ ҳавзаи дараи Арнавад

Номи пиряҳ	Намуди морфологӣ	Мавқеи ҷойгиршавӣ	Масоҳати пиряҳҳо, км <sup>2</sup>						Коҳишёбӣ км <sup>2</sup>	Коҳишёбӣ %
			1994	2000	2005	2011	2016	2022		
20*	Водигӣ	Шимол-шарқ	2,0	2,0	2,0	2,4	1,9	1,8	<b>0,2</b>	<b>10</b>
21	Водигӣ	Шимол-шарқ	1,8	1,8	1,9	1,8	1,5	1,4	<b>0,4</b>	<b>22</b>
22*	Водигӣ	Шарқ	2,3	2,1	2,4	2,2	2,1	1,9	<b>0,4</b>	<b>17,4</b>
23*	Водигии мураккаб	Ҷануб	3,1	3,2	3,4	3,1	3,2	2,5	<b>0,6</b>	<b>19,3</b>
24*	Водигии мураккаб	Ҷануб-шарқ	1,1	1,0	1,2	1,1	1,1	0,7	<b>0,4</b>	<b>33</b>
25	Карави овезон	Ҷануб	0,24	0,21	0,24	0,2	0,2	0,1	<b>0,14</b>	<b>58</b>
<b>Ҳисоби умумии масоҳати пиряҳҳо</b>			<b>10,5</b>	<b>10,3</b>	<b>11,1</b>	<b>10,4</b>	<b>10</b>	<b>8,4</b>	<b>2,14</b>	<b>20</b>

Таҳлили таҳқиқот нишон медиҳад, ки коҳишёбии пиряҳҳо дар ҳавза вобаста ба мавқеи ҷойгиршавии пиряҳ, шакли морфологӣ, масоҳат, ҳаҷм ва баландии ҷойгиршавии пиряҳҳо аз сатҳи баҳр муҳталиф ба назар мерасанд. Коҳишёбӣ дар пиряҳҳои қисмати ҷанубии ҳавза аз 19% - то 58%, дар қисматҳои шимол - шарқ аз 10% то 22%, шарқ - 17,4% ва ҷанубу шарқ 33% - ро ташкил менамояд. Коҳишёбии аз ҳад зиёд дар пиряҳи № 25 дида мешавад, ки ба 58% - мерасад. Далели обшавии зиёди пиряҳи мазкур ба масоҳати хурд ( $0,24 \text{ км}^2$  дар соли 1994) ва мавқеи ҷойгиршавии он вобаста буда метавонад (нигаред ба расми 4).

### **Хулоса**

1. Дар ҳавзай дарёи Арнавад 6-пиряҳи калон ва 1 пиряҳи нуқтагӣ мавҷуд буда, мавқеи ҷойгиршави пиряҳҳо ҷанубӣ, ҷанубу шарқӣ ва шимолу шарқӣ мебошад. Намуди морфологии пиряҳҳои ҳавза водигӣ, водигии мураккаб, каравӣ, каравии оvezон ба назар мерасад.
2. Масоҳати умумии пиряҳҳои ҳавзай дарёи Арнавад соли 1994  $10,5 \text{ км}^2$  буда, то соли 2022 ба  $8,4 \text{ км}^2$  расидааст. Яъне  $2,4 \text{ км}^2$  масоҳати умумии пиряҳҳои ҳавза аз байн рафтааст, ки бо ҳисоби миёна 20% - ро ташкил медиҳад.
3. Коҳишёбии зиёд дар пиряҳи № 25 дида мешавад, ки масоҳати он нисбат ба дигар пиряҳҳо хуртар аст. Шакли морфологии пиряҳи № 25 каравӣ - оvezон буда, мавқеи ҷойгиршавии пиряҳ ҷанубӣ мебошад. Коҳишёбии пиряҳ ба 58% мерасад. Сабаби зиёд обшавии пиряҳи мазкур ба масоҳати хурд доштани он вобаста аст.
4. Ҳолати коҳишёбии пиряҳҳоро ба назар гирифта, таҳқиқоти моҳворагӣ - экспедициониро дар ин минтақа васеъ намудан лозим аст.

## **Адабиёт**

1. Агентство по гидрометеорологии комитета по охране окружающей среды при правительстве Республики Таджикистан. Режим доступа: бюллетены по гидрометеорологии.
2. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Ледники. - М., Мысль, - 1989 . - 447 с.
3. Каталог ледников СССР. -Том 14. Выпуск 3. Амударья. часть 11. Бассейн реки Ванҷ – Гидрометеоиздат, -1978 г.
4. Каюмов А.К., Новикова В. Третье национальное сообщение Республики Таджикистан по Рамочной конвенции об ООН изменении климата. Душанбе, - 2014. – 167 с.
5. Каюмов А. К., Первая комплексная международная научная экспедиция по изучению состояния ледников и экологической ситуации в верховьях рек Вахш и Пяндж. Часть 1. Ледники и Гидрология. Душанбе, - 2013. С 38-39.
6. Осипова, Г.Б., Каталог ледников СССР, 1978: Гидрометеоиздат, Ленинград, - 1978. 83 с.
7. Раҳимӣ Ф., Муҳаббатов Ҳ., Ниёзов А., Аброров Ҳ. “Об, илм ва рушди устувор” Душанбе: Дониш, - 2018. 432 с.

А. К. КАЮМОВ, М. Ш. ДАВЛЯТОВА, Х. САИДЗОДА

## СОСТОЯНИЕ ЛЕДНИКОВ БАССЕЙНА РЕКИ ВАНЧ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*Государственное научное учреждение "Центр изучения ледников  
Национальной академии наук Таджикистана"*

Цель исследования – оценить состояние ледников бассейна реки Арнавад в период 1994 – 2022 гг. Для этого использовалось программное обеспечение *Landsat5 (TM)*, *Landsat7 (ETM+)*, *Sentinel 2A* и *Arcgis10.5*. Анализы показали, что площадь ледников в бассейне реки Арнавад уменьшилась на 2,14 км<sup>2</sup> (20%). Ледники №20, №22, №23, №24 относятся к группе пульсирующих ледников. В частности, ледник № 20 находился в состоянии пульсации с 2005 по 2011 год.

**Ключевые слова:** деградация ледников, космические исследования, изменение климата, уровень воды реки Вандж.

А. К. KAYUMOV, М. SH. DAVLATOVA,  
KH. SAIDZODA

## THE STATE OF GLACIERS OF THE VANJ RIVER BASIN UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS

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

The purpose of the study was to assess the condition of glaciers in the Arnavad River Basin between 1994 and 2022. Landsat5 (TM), Landsat7 (ETM+), Sentinel 2A and Arcgis10.5 software were used for this purpose. The analyses showed that the area of glaciers in the Arnavad River basin decreased by 2.14 km<sup>2</sup> (20%). Glaciers No. 20, No. 22, No. 23, No. 24 are surging glaciers. In particular, glacier No. 20 was in the state of surging from 2005 to 2011.

**Keywords:** glacier degradation, space research, climate change, water level of the Vanj River.

**КРИОСФЕРА**  
**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ЦЕНТР**  
**ИЗУЧЕНИЯ ЛЕДНИКОВ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК**  
**ТАДЖИКИСТАНА» № 2 (6), 2022 г.**

---

**ГЛЯЦИОЛОГИЯ**

УДК 551.324.63

А. К. КАЮМОВ<sup>1</sup>, М. Х. МУРОДОВ<sup>2</sup>

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ  
ПУЛЬСИРУЮЩИХ ЛЕДНИКОВ БАССЕЙНА РЕКИ ВАНЧ**

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

<sup>2</sup>*Государственная ключевая лаборатория экологии пустынь и оазисов, Синьцзянский институт экологии и географии Китайской академии наук, Урумчи 830011, Китай*

Целью настоящей работы является изучение состояния ледников бассейна реки Ванч в условиях изменения климата с помощью дистанционного зондирования.

В работе использовались спутниковые снимки *Sentinel -2*, от 27 августа 2018 г. и 30 августа 2020 г. с уровнем обработки *L1C* с пространственным разрешением 10 м; 2) спутника *Corona 4B* с разрешением 2 м; 3) спутниковые снимки *Landsat 1* *Landsat 5-9*; 5) цифровая модель рельефа (ЦМР) *ASTER GDEM2*. Границы ледников расшифровывались с помощью *ArcGIS*.

По результатам обработки космических снимков, группировка пульсирующих ледников была произведена по степени подвижности и опасности. При подвижке крупных пульсирующих ледников, в частности Медвежий и РГО прикрывается русло реки Абукагора. Ледяные плотины в следствие накопления большого количества воды прорываются и гляциальные селевые потоки наносят большое количество ущерба.

Результаты исследований позволили сформулировать основы космического мониторинга пульсирующих ледников и с их помощью обнаружить и проследить подвижки этих ледников с 1968 по 2020 гг.. В бассейне реки Ванч было выявлено 47 пульсирующих ледников, которые в настоящее время находятся в активной фазе.

**Ключевые слова:** Памир, река Ванч, мониторинг, пульсации ледник, космический снимок, колебание климата.

---

<sup>1</sup> Адрес для корреспонденции: Каюмов Абдулхамид Каюмович, Муродов Муродхуза. 734025, Республика Таджикистан, Душанбе, проспект Рудаки, 33, Центр изучения ледников Национальной Академии наук Таджикистана. E-mail: [abdkayumov@mail.ru](mailto:abdkayumov@mail.ru); [murodov.murodkhuja@mail.ru](mailto:murodov.murodkhuja@mail.ru)

## Введение

На данный момент проблема пульсации ледников является наиболее актуальных и мало изученных в современной ледниковой науке. Одним из крупнейших проектов, выполненных советскими гляциологами в 1960–1980-е годы, было создание Каталога ледников СССР [1]. Он состоит из 69 книг [2] и охватывает 23 ледниковые системы [3]. К сожалению, в этом каталоге мало внимания уделено пульсирующим ледникам, которые могут внезапно (за несколько дней или месяцев) увеличить свою площадь на десятки процентов [4]. Каталог пульсирующих ледников Памира, составленный в 1998 г. [5], где 630 из общего числа 6730 ледников [6] оказались пульсирующими. На эти ледники приходится более 60% из 7493 км<sup>2</sup> всей площади оледенения Памира.

Особый интерес представляют особенности морфологии и динамики пульсирующих ледников находящегося на территории Ванчского бассейна [7]. Их катастрофических характеров и резкое движение эти ледники привлекают большое внимание. Часто пульсирующие ледники в долинах прикрывают ручной сток, тем самым образуется большой озёр и достигает сотен метров в высоту, резки разрыв воды приводит к катастрофическим наводнениям и разрушение жилых домов [8]. Такие опасные последствия требуют постоянного наблюдения за пульсирующими ледниками, и здесь нам помогут аэрофотосъемка и спутниковые снимки.

В настоящее время самый изученный ледник данного бассейна является ледник Медвежий. Поскольку предыдущие подвижки ледника хорошо были изучены, закономерности и выявленные его динамикой, служат основой для прогноза следующего движения ледника, которое полностью разумный [9].

Исследования изменения температуры воздуха и осадок играет самую важную роль в подвижках горных ледников. За последние годы в данном районе температура повысилась, и её влияния на изменение площади ледников и их пульсации имеют различные последствия. Многие из пульсирующих ледников в Таджикистане изучены недостаточно, что это

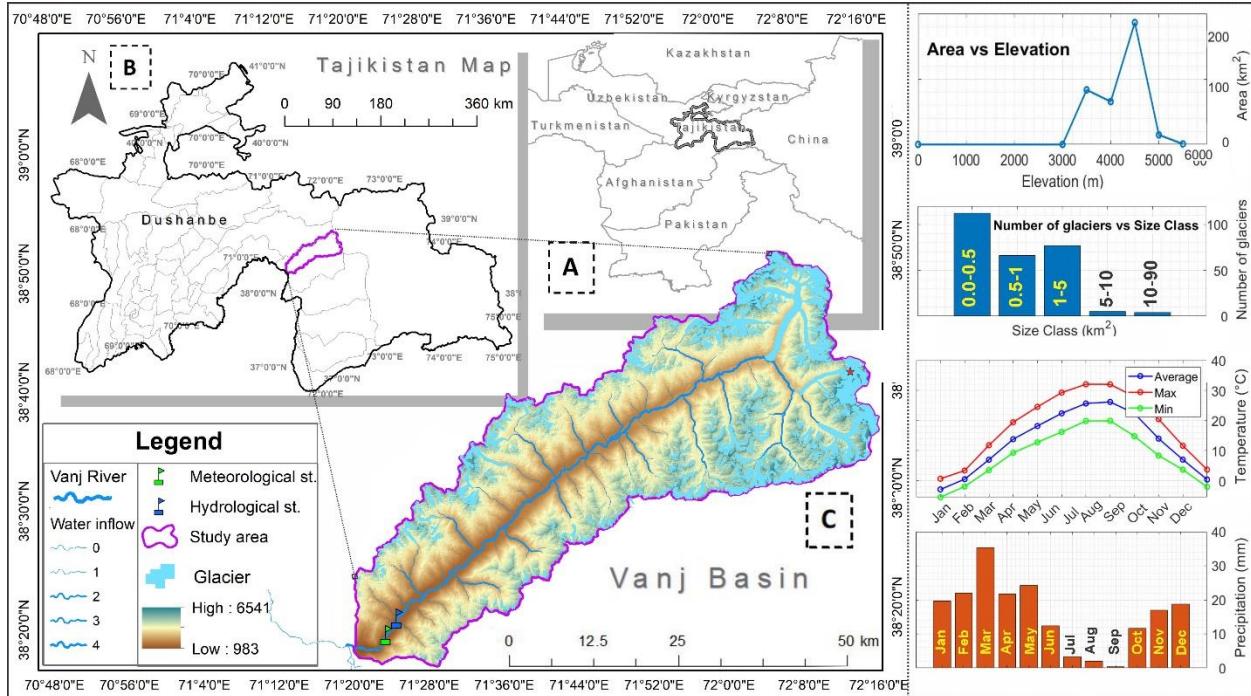
создает неопределенность для прогноза внезапных катастрофических стихийных бедствий.

Цели нашего исследования следующие: (1) улучшить понимание динамики нагонов ледников бассейна реки Ванча и измерить их поведение и (2) изучить динамику деградации с 1968 по 2020 год. С помощью спутниковых снимков *Sentinel -2*, *CORONA 4B*, *Hexagon*, и *Landsat 1, 5-9*. Чтобы лучше понять динамику нагонов ледников и связь между нагонами и образованием ледниковых озер, в ходе исследования было выявлено шесть набегов ледника Медвежий с 1968 года. Для анализа были использованы спутниковые данные Corona, Hexagon и Landsat. скорости движения ледника, изменения высоты и площади. В ходе исследования была проанализирована корреляция между нагонами и GLOF, изучена взаимосвязь между климатом и изменениями на оконечности ледника, а также установлен период и процесс нагонов. Результаты этого исследования имеют решающее значение для улучшения нашего понимания динамики нагона ледника Медвежий, оценки поведения ледника и изучения динамики деградации с 1968 по 2023 год, предоставляя ценную информацию для поддержки принятия обоснованных решений в контексте ледниковых изменений, климатических взаимодействий, и потенциальные риски GLOF [10].

## Место исследования

Памир — это типичная высокогорная внутри континентальная страна с мощным современным оледенением, морфология и режим которого определяются главным образом орографическими и климатическими факторами [7]. Для исследования был выбран бассейн р. Ванч, текущей на север и впадающей в р. Пяндж; бассейн разделяет Дарвазский и Язгуламский хребты (рис. 1), своими верховьями врезана почти до самого гребня хр. Академии Наук, который возвышается над дном долины почти на 3000м. Бассейн реки Ванч состоит из 291 малых и больших ледников с общей площадью 353,9  $\text{км}^2$  из которых 47 являются пульсирующими. Площади

ледников этого бассейна определены и охарактеризованы в Каталога ледников СССР т.14 третьего выпуска 1974 г. Истоком р. Ванча считается река, берущая начало из ледника Географического общества на высоте 2580 м. В 3 км от истока река принимает слева крупный приток р. Абдукаххор, которая начинается от одноименного ледника на высоте 3560 м [11].



**Рис. 1. Район исследования и расположение площадок. (а) Расположение Таджикистана на карте мира; (б) Карта Таджикистана; (с) Цифровые данные о высоте, притоке воды, ледниковых зонах и расположении гидрометеорологических станций**

## Рельеф района

Описываемая территория относится к Памирской области устойчивых неотектонических поднятий [1]. Максимальные амплитуды поднятий (до 7000 м) характерны для хребта Академии наук в районе вершин Пик Исмоила Сомони (Коммунизма) и Гармо. Климат изучаемой области связан с ее географическим положением и расположением на западной периферии обширного горного подъема. Климат ледниковой зоны в большей степени определяется влиянием свободной циркуляции атмосферы и вертикальной зональностью. Основные климатические условия в верховьях реки Ванч

характеризуются метеостанцией Хумроги. Гидрометеорологическая станция Хумроги расположена на высоте 1320 м над уровнем моря, и ее близость между двумя хребтами защищает ее от холодных вторжений и выветривания. Зимой средняя температура опускается до  $-2^{\circ}\text{C}$ , тогда как летом поднимается до  $+26-27^{\circ}\text{C}$  [12].

**Таблица 1**

**Распространение ледников на основных участках бассейна реки Ванч.  
Площадь ( $\text{км}^2$ ) ледниковых систем СССР на 1978 г. [1]**

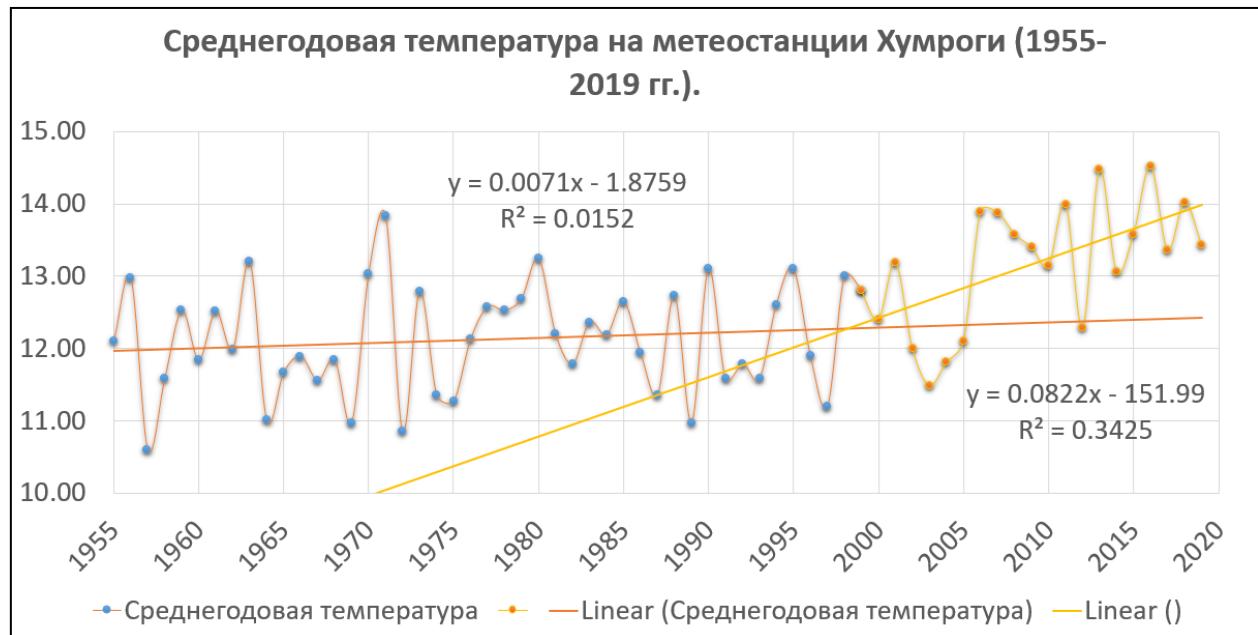
Бассейн реки Ванч	Площадь ледников				Площадь ледников		Максимальная площадь одного ледника, $\text{км}^2$	Средняя площадь одного ледника, $\text{км}^2$		
	0,1 $\text{км}^2$ и более 0,1 $\text{км}^2$		0,1 $\text{км}^2$ и менее 0,1 $\text{км}^2$							
	количество	площадь, $\text{км}^2$	количество	площадь, $\text{км}^2$	количество	площадь, $\text{км}^2$				
Правые притоки	95 (94)	78,8	22	1,6	117 (116)	80,4	7,2 (7,2)	0,69 (0,69)		
Верховья реки Ванч, Абдукарагор	75 (65)	215,8	14	1,1	89 (79)	216,9	28,2 (64,4)	2,44 (2,75)		
Левые притоки	73 (67)	55,8	12	0,8	85(79)	56,6	6,0 (7,5)	0,66 (0,72)		
Общий	243 (226)	350,4	48	3,5	291 (274)	353,9	28,2 (64,4)	1,22 (1,29)		

**Примечание:** В скобках указано количество ледников, максимальная и средняя площадь одного ледника, рассчитанная без разделения на отдельные потоки и комплексно-долинных ледников.

Все крупнейшие ледники в бассейнах рек Ванч и Язгулем берут начало от хребта Академии наук с хребты Дарваз, Ванч и Язгулем. Этот район характеризуется большой высотой и глубоким рельефом, который считается центром крупного современного оледенения [13].

**Климатические условия.** Согласно данным станции Хумроги ( $71^{\circ}23'31.50''$  в.д.,  $38^{\circ}18'56.13''$  с.ш.), среднегодовая температура в бассейне реки Ванч составляет  $9,9^{\circ}\text{C}$  (рис. 2). Годовое количество осадков составляет около 341 мм. Самым засушливым месяцем является август, с осадками в 1 мм. Большая часть осадков выпадает в марте, в среднем 64 мм. Самый теплый месяц года — июль, со средней температурой  $23,0^{\circ}\text{C}$ . Средняя температура в январе составляет  $-4,9^{\circ}\text{C}$ , что является самым низким средним значением за

год. Разница в количестве осадков между самым засушливым и самым влажным месяцем составляет 63 мм (рис. 3). Средняя температура варьируется в течение года на 27,9 °C [12].



**Рис. 2.** На рисунке показано трендовые анализы среднегодовой температуры метеостанции Хумроги за период 1955–2018 гг.

Были рассмотрены пять статистик оценки: коэффициент корреляции Пирсона (PCC) [14], коэффициент детерминации ( $R^2$ ) [15], эффективность Нэша–Сатклиффа (NSE) [15], эффективность Клинга–Гупты (KGE) [16] и относительная ошибка (PBIAS) [17].

**Таблица 2**

**Статистика наблюдаемой и смоделированной средней месячной температуры и годового количества осадков между станцией Хумроги и данными CHIRPS.**

Название	PCC	R2	NSE	KGE	PBIAS (%)
Средняя температура, °C	0.96	0.93	-0.41	-11.50	2026.05
Годовое количество осадков, мм	0.68	0.46	0.04	-10.49	40.52

Для анализа механизма нагона ледников в бассейне реки Ванч мы сначала сравнили температуру воздуха и количество осадков на метеостанции Хумроги в бассейне реки Ванч с температурой на окружающих

метеостанциях с 1955 года. Мы получили данные о температуре воздуха и осадках на станции Хумроги с 1955 года для анализа механизма нагона ледников, что показало, что станция Хумроги лучше всего совпадала с температурными данными CHIRPS, но не совпадала хорошо с данными по осадкам (см. Таб. 2).



**Рис. 3. На рисунке показано трендовые анализы готовой количества осадок за период 1955 – 2018 гг. (метеостанция Хумроги)**

**Источник данных.** Спутниковые снимки в настоящее время являются основным источником информации о нагонах ледников. В работе использовались следующие материалы: 1) снимки со спутника Sentinel-2 с уровнем обработки L1C от 27 августа 2018 г. и 30 августа 2020 г. с пространственным разрешением 10 м; 2) изображения со спутника Corona 4B, Haxegon с пространственным разрешением 2 м; 3) спутниковые снимки Landsat 1 с пространственным разрешением 60 м Landsat 5-9 с пространственным разрешением 30 м; 5) БПЛА 6) цифровая модель рельефа (ЦМР) ASTER GDEM2. Границы ледников расшифровывались вручную по спутниковым снимкам с помощью программного комплекса ArcGIS. Все использованные в работе материалы дистанционного зондирования Земли находились в проекции UTM (зона 42N) на эллипсоид WGS1984 [18]. В

результате были получены границы ледников бассейна реки. Ванча в конце периода абляции в 2020 г., а также границы языков ледников в ряд промежуточных дат в период 1968–2020 гг., что позволило проанализировать их динамику. Погрешности определения площадей ледников оценивались путем построения буферной зоны по границам ледников шириной, равной удвоенному значению пространственного разрешения космических снимков. Для языков ледников Ванча между самым высоким и самым низким из зафиксированных положений их фронтов в период 1968–2020 гг. были проведены осевые линии, по которым проводились измерения колебаний фронта. Чтобы определить причину пульсации ледника, необходимо проанализировать данные о погоде с ближайшей метеостанции. Поэтому использовались данные о среднемесячной и годовой температуре воздуха, осадках, полученные от метеостанций, расположенных на территории Ванчского района. Гидрометеорологическая станция Хумраги, расположенная в нижней части Ванчского района недалеко от района исследований, собирала ежечасные данные, включая сток воды, осадки, температуру воздуха, относительную влажность и результирующую радиацию. Эти данные имеют многолетнюю последовательность данных наблюдений для гидрологических и метеорологических исследований. Используемый в работе массив данных включает временные ряды среднесуточных температур воздуха и осадков на метеостанции Горбунов (с 1 января 1933 г. по 31 декабря 1991 г.) и временные ряды среднесуточных расходов на гидрологической станции Хумраги.

Бассейн реки Ванч разделен на шесть районов. К первому и третьему районам относятся ледники левобережья реки Ванч (Дарвазский хребет), ко второму и четвертому — ледники правобережья реки Ванч. Бассейн верхнего течения Ванчского района делится на северо-западную и северо-восточную части (соответственно пятый и шестой районы являются хребтом Академии наук).

По характеру движений и их последствиям пульсирующие ледники можно разделить на три категории (рис. 4): 1) Простые и сложные долинные

ледники связаны с районом нагула и их движение захватывает либо весь ледник, либо только его часть, лежащую в зоне аблации. Главной опасностью такого движения ледников является образование в боковых долинах подпрудных озер, прорыв которых может привести к катастрофическим оползням и наводнениям. Такие типы ледников являются одними из наиболее часто пульсирующих ледников в мире. 2) Ледники висячих долин, концы которых при движении выползают на крутой устьевой порог и, отрываясь от него, вызывают ледо-каменные обвалы и сели, при этом их движения происходят примерно через равные промежутки времени. 3) Выходные ледники и части ледяных щитов в приполярных районах. Движения этих ледников обычно захватывают огромные пространства, измеряемые сотнями и тысячами квадратных километров, а объемы выносимых ледяных масс достигают десятков и сотен кубических километров. Такие ледники колеблются в широких пределах, от нескольких лет до ста и более лет.

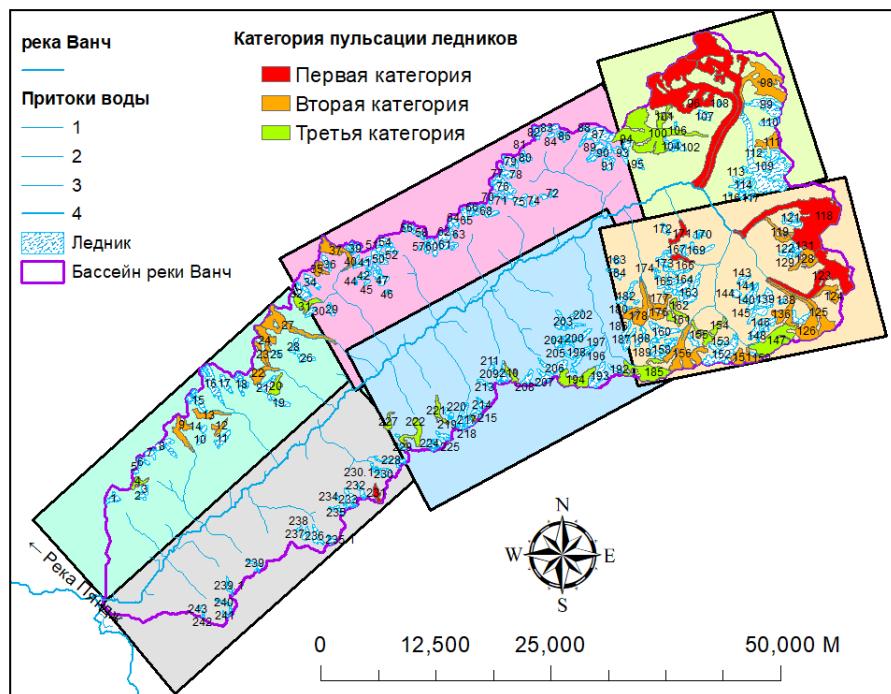


Рис. 4. Полигонная карта и категории пульсации ледников бассейна реки Ванч

Ледники описанного района расположены в значительном диапазоне высот 2600-6500м (рис. 4), в связи с чем температурный режим воздуха над ними весьма разнообразен [1]. Границы питания ледника делятся на две части: область питания (аккумуляция) и область аблации, язык

ледника). Накопление на ледниках состоит из твёрдых осадков, выпадающих из атмосферы в виде снега, круп, града, ледяного дождя; накапливающиеся осадки, образующиеся на поверхности снега и льда. В первом из них накопление твердых атмосферных осадков (аккумуляция) больше, чем их расход на таяние, испарение и вынос снега ветром. Во втором случае потребление льда (абляция) больше дохода. Последний подъём ледника Медвежьего был 23 июля 2011 года [19]. Спокойное и размеренное существование ледников иногда сменяется резкими движениями или пульсациями. В такие периоды ледники набирают большую скорость, а их языки смещаются далеко вниз по долинам, превосходя по своим масштабам обычные колебания ледников (табл. 3).

Скорость возросла после 2000 года и только за последние десять лет в пять раз, что привело к перекрытию русла реки Абдукагор. Многолетние наблюдения за движениями тростниковой части ледника и анализ метеорологических данных ближайшей метеостанции Хумраги за 1977-2019 годы показывают, что движение ледника РГО тесно связано с колебаниями температуры. Наблюдения за осадками в районе ледника показывают, что изменение формы их многолетнего тренда осадков совпадает по времени с изменением их интенсивности [20].

**Таблица 3**  
**Изменение площади от эталонного профиля до окончания ледника Медвежий и РГО [21]**

Ледник Медвежий (1973-2011 гг.)				Ледник РГО (2000-2011 гг.)			
Дата дистанционного зондирования	Площадь, км <sup>2</sup>	Изменение площади, км <sup>2</sup>	Увеличение площади (+) уменьшение (-), км <sup>2</sup>	Дата дистанционного зондирования	Площадь, км <sup>2</sup>	Изменение площади, км <sup>2</sup>	Увеличение площади (+) уменьшение (-), км <sup>2</sup>
09.09.1973	2,084	1,633		16.09.2000	1,342	0	
13.09.1988	0,451	0,000	-1,633	10.08.2002	1,461	0,119	0,119
12.05.1989	0,540	0,089	+0,089	30.09.2002	1,600	0,257	0,139
08.10.1989	1,279	0,829	+0,739	08.08.2003	1,794	0,452	0,195
26.06.2001	0,667	0,216	-0,612	26.09.2004	1,989	0,647	0,195
10.08.2002	0,689	0,238	+0,022	22.08.2005	1,989	0,647	0,000
08.09.2009	0,508	0,057	-0,181	31.07.2006	2,139	0,797	0,150
28.09.2011	1,439	0,988	+0,931	01.07.2007	2,702	1,360	0,563

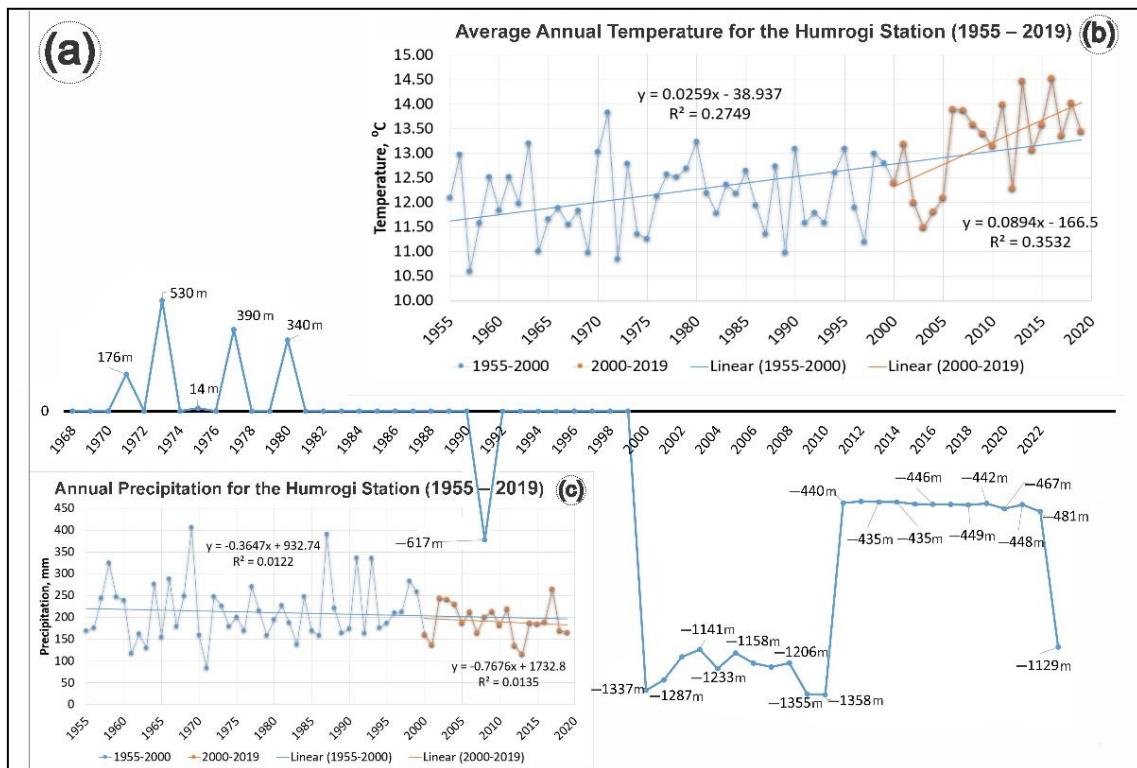
Результаты частых определений изменения площади ледника Медвежьего в периоды его пульсации по данным дистанционного мониторинга со спутников LANDSAT 7 ETM+, Sentinel и TERRA представлены в таблице. 6. Такая информация имеет большое научное и практическое значение, так как внезапные движения ледников относятся к опасным природным явлениям. Система признаков пульсирующего ледника на разных стадиях пульсации использовалась для выделения пульсирующих ледников и их каталогизации [5], а также для разработки системы мониторинга неустойчивых ледников [22]. Материалы исследований послужили основой для ряда теоретических разработок [23-25], карты и графики, характеризующие морфологию и режим ледника, имеются в Атласе [26]. В результате исследований ледник Медвежий стал одним из наиболее изученных пульсирующих ледников в мире.

## Обсуждение

**Взаимодействие изменения климата.** Дополнительно, анализ изменений температуры и осадков на основе данных метеостанции Хумроги показал увеличение средней температуры воздуха и снижение осадков после 2000 года (см. рис. 5b, с). Это указывает на недостаточное количество снега в зоне накопления ледника, что приводит к недостаточному увеличению массы из-за изменений климата. Поэтому мониторинг полного цикла нагонов полезен для глубокого понимания механизма пульсаций ледников. Мы предполагаем, что будущие исследования усилят мониторинг повторяющихся нагонов ледников.

Наблюдаемые изменения климатических данных показали, что в этом районе уровень годовых осадков снизился на 32,9 мм или 14% от общего годового количества осадков. После тщательного анализа среднегодовых данных о температуре воздуха и годовых осадках с метеостанции Хумроги стало ясно, что после 2000 года заметно повысилась средняя температура воздуха при снижении осадков в исследуемой области. Эти тенденции способствуют ускоренному процессу разрушения ледника.

Сравнение данных о температуре воздуха и движении ледника ярче демонстрирует их взаимосвязь. Для определения зависимости нагонов терминальной позиции ледника Медвежий от метеорологических условий (атмосферных осадков и температуры воздуха) были построены графики нагонов ледника и изменений метеорологических условий на протяжении наблюдательного периода.



**Рис. 5. (а) Изменение терминальной позиции ледника Медвежий с 1968 по 2023 год, (б) Среднегодовая температура, (с) Годовые осадки на метеостанции Хумроги**

На рисунке 16с показано изменение осадков по параболической схеме до отрицательного значения после 2000 года, и в это же время ускорилось отступление конечной части ледника Медвежий (рис. 5а). Это позволяет предположить функциональную связь между этими явлениями. За период наблюдений (с 1968 по 2023 год) наблюдается значительное повышение температуры воздуха, и ледник постепенно отступал от своего прежнего положения (рис. 5б). Наш комплексный анализ (спутниковые и наземные данные) показал значительную корреляцию между отступлением ледника Медвежий и повышением температуры, что подтверждает связь между поведением ледника и ростом температур. Эти результаты согласуются с

другими исследованиями, которые также наблюдали влияние повышения температуры на отступление ледников в Гималаях и Памире [27-30]. В целом, 55 лет наблюдений показывают, что язык ледника переместился на  $1,6 \pm 0,03$  км от своего прежнего положения и достиг самой высокой точки в 2023 году.

**Опасности Пульсаций Ледников.** Подледниковое озеро Абдукахор является основным источником разрушительных наводнений и привлекает особое внимание исследователей. Наблюдения за накоплением и стоком озера ведутся с 1963 года (Таб. 4). Детальные исследования бассейна озера после его слива дали представление о его объемах и закономерностях прорывов. Исследования показывают, что факторы, влияющие на формирование, объем, время, интенсивность и траектории прорывов озера, выходят за рамки морфологии и размеров ледяной плотины. Они также охватывают сложности движения льда во время пульсаций и образующиеся в результате гляциотектонические структуры внутри ледника.

Таблица 4

**55-летнее исследование пульсаций ледника Медвежий (1968–2023 гг.)**

Год	Продвижение терминала, м	Площадь ледника, км <sup>2</sup>	Объем образованного запрудного озера	Тип наблюдений
1963	1750	-	14.5 миллиона м <sup>3</sup> , с катастрофическими прорывами через ледник	Наземная разведка [31]
1973	1925	32.26	16.4 миллиона м <sup>3</sup> , с катастрофическими прорывами через ледник	Наземные наблюдения, фототеодолитные измерения [31]
1975	1260	31.62	-	Спутниковые данные (Landsat TM)
1977	1250	32	-	Спутниковые данные (Hexagon КН-9)
1988–1989	1100	31.10	Объем незначителен, спуск по левому краю ледника	Аэротопографический мониторинг и земные измерения Таджикгидромета [31]
2001	450	30.69		Каюмов А.К. Мониторинг во время экспедиционных работ [31]
2011	Более 800 м	31.22	Озеро не образовалось	

**Примечание:** Эта таблица содержит данные о продвижении терминала ледника Медвежий, его площади, объеме образованных запрудных озер в конкретные годы и типах проведенных наблюдений.

## **Заключение**

Резкое изменение климата и повышение температуры отрицательно сказывается на оледенении горных ледников. Пульсации ледников представляют собой выражение их динамической неустойчивости и могут быть вызваны сочетанием климатических условий и местных факторов. Измерения температуры на глубине 40-50 метров показывают, что температура льда приближается к точке таяния. Недостаток данных о температурном состоянии пульсирующих ледников затрудняет точные расчеты их динамики, что требует дальнейших исследований для понимания связи пульсаций с изменением массы ледников и климатическими изменениями.

Измерения на леднике Медвежий показали, что прирост массы льда за 10 лет восстановления эквивалентен массе смещенного льда при движении в 1973 году, что составило около 187,6 миллионов тонн. Однако периоды пульсации различных ледников значительно варьируются – от нескольких лет до более ста лет. Пульсации одного и того же ледника повторяются через равные временные интервалы при неизменных внешних условиях.

Движения пульсирующих ледников на близко расположенных территориях не синхронизированы и не имеют прямой связи с климатическими колебаниями. Они могут возникать как при наступлении, так и при отступлении оледенения. Важно также изучить условия на ложе ледника, включая температурный режим придонных частей, состав и строение слоев льда, а также влияние воды и донной морены на его поведение.

## Список литературы

1. Осипова, Г.Б., Каталог ледников СССР. 1978: Гидрометеоиздат, Ленинград, 1978 г., 83 стр., УДК: 551.324.
2. Виноградов, О., Завершение работ по созданию Каталога ледников СССР. Материалы гляциол. исследований, 1984(51): р. 10-16.
3. Кренке, А.Н., Массообмен в ледниковых системах на территории СССР. 1982: Гидрометеоиздат.
4. Котляков, В., et al., Уникальные циклические пульсации ледника Медвежий. ДАН, 2018. 483(5): р. 547.
5. Осипова, Г., et al., Каталог пульсирующих ледников Памира. Материалы гляциологических исследований, 1998(85): р. 3-136.
6. Kotlyakov., V.M., G.B. Osipova., and D.G. Tsvetkov., Space monitoring of the pulsating glaciers of the Pamirs. News of the Russian Academy of Sciences. Geographic series, 2008(4): p. 74-83.
7. Котляков, В., et al. Динамика пульсирующих ледников бассейна реки Сугран на Памире. in Доклады Академии наук. 2019. Федеральное государственное бюджетное учреждение" Российская академия наук".
8. WSB, P., The physics of glaciers. 1994: Oxford: Pergamon.
9. Долгушин, Л.Д. and Г.Б. Осипова, Ледники. 1989: Мысль.
10. Murodov, M., et al., A Comprehensive Examination of the Medvezhiy Glacier's Surges in West Pamir (1968–2023). Remote Sensing, 2024. 16(10).
11. Котляков, В., et al., События 2002 года на леднике Русского географического общества (РГО), Памир. Материалы гляциол. исследований, 2003(95): р. 221.
12. TMS-84, Meteorological station Humrogy for the period 1955-2019 // Archival data Agency for Hydrometeorology of the Republic of Tajikistan (date of access: December 2019 - January 2020).
13. Забиров, Р.Д., Оледенение Памира. 1955: Гос. изд-во геогр. лит-ры.
14. Milewski, A., R. Elkadiri, and M. Durham, Assessment and comparison of TMPA satellite precipitation products in varying climatic and topographic

- regimes in Morocco. *Remote Sensing*, 2015. 7(5): p. 5697-5717.
15. Moriasi, D.N., et al., Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 2007. 50(3): p. 885-900.
16. Nash, J. E. and J.V. Sutcliffe, River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 1970. 10(3): p. 282-290.
17. Gupta, H. V., S. Sorooshian, and P.O. Yapo, Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of hydrologic engineering*, 1999. 4(2): p. 135-143.
18. 281-288., К.В.Г.С.п.д.з.З.и.к.С.н.с.М.И.Р.Т.С.
19. Котляков, В. and Л. Десинов, Подвижка ледника Медвежьего в 2011 году. *Лёд и снег*, 2012. 52 (1): p. 128-131.
20. Восидов, Ф., et al. Дистанционный мониторинг движения ледников Русского географического общества в условиях изменения климата. in *Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли*. 2021.
21. Коновалов, В. and В. Рудаков, Определение характеристик ледников по данным дистанционного зондирования (ДЗЗ). *Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии*, 2015. 8(1): p. 98-107.
22. Котляков, В., Г. Осипова, and Д. Цветков, Особенности мониторинга динамически нестабильных ледников. *Материалы гляциологических исследований*, 2006(100): p. 38-48.
23. McInnes, B. and W. Budd, A cross-sectional model for West Antarctica. *Annals of Glaciology*, 1984. 5: p. 95-99.
24. Voitkovsky K.F. On the mechanism of movement of the Medvezhiy glacier // *MGU*. 1974. Issue. 24, p.
25. Voloshina A.P. External energy exchange of the Medvezhiy glacier in the Pamirs // *MGU*. 1976. Issue. 26, p.
26. Котляков, В., Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. 1997, Том.
27. Nie, Y., et al., Glacial change and hydrological implications in the Himalaya

- and Karakoram. *Nature reviews earth & environment*, 2021. 2(2): p. 91-106.
28. Jianchu, X., A. Shrestha, and M. Eriksson, Climate change and its impacts on glaciers and water resource management in the Himalayan Region. *Assessment of Snow, Glaciers and Water Resources in Asia. International Hydrological Programme of UNESCO and Hydrology and Water Resources Programme of WMO*. Koblenz, Germany, 2009. 44: p. 54.
29. Dimri, A., et al., Climate change, cryosphere and impacts in the Indian Himalayan Region. *Current Science*, 2021.
30. Khromova, T.E., et al., Changes in glacier extent in the eastern Pamir, Central Asia, determined from historical data and ASTER imagery. *Remote Sensing of Environment*, 2006. 102(1): p. 24-32.
31. Каюмов А. К. Первая комплексная международная научная экспедиция по изучению состояния ледников и экологической ситуации в верховьях рек Вахш и Пяндж. Часть 1. Ледники и гидрология. – Душанбе: «Ирфон», 2013. – 150 с.

А. Қ. ҚАЮМОВ, М. Ҳ. МУРОДОВ  
**ИСТИФОДАБАРИИ УСУЛҲОИ МОҲВОРАГИ БАРОИ НАЗОРАТИ ВАЗЪИЯТИ  
 ПИРЯХҲОИ КОҲИШЁБАНДА ДАР ҲАВЗАИ ДАРЁИ ВАН҆҆**

*Муассисаи давлатии илмии «Маркази омӯзииши пиряҳҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон»*

Ҳадафи ин кор омӯзииши ҳолати пиряҳҳои ҳавзаи дарёи Ванҷ дар шароити тағйирёбии иқлим бо истифода аз усулҳои моҳворагӣ ба шумор меравад.

Дар ин кор тасвирҳои моҳвораи *Sentinel-2* аз 27 августи соли 2018 ва 30 августи соли 2020 бо сатҳи коркарди *L1C* бо ҳалиавии фазоии 10 м; 2) моҳвораи *Declass 1-3* бо ҳалиавии 2 м; 3) тасвирҳои моҳвораи *Landsat 1*; *Landsat 5-9*; 5) модели баландии рақамӣ (ЦМР) *ASTER GDEM2* истифода шуданд. Ҳудуди пиряҳҳо бо ёрии *ArcGIS* соҳта шуданд.

Дар натиҷаи коркарди тасвирҳои кайҳонӣ, гурӯҳбандии пиряҳҳои набзонӣ аз рӯйи дараҷаи ҳаракатнокӣ ва ҳатари онҳо анҷом дода шуд. Ҳангоми ҳаракати пиряҳҳои бузурги коҳишиёбанд, маҳсусан пиряҳи Хирсон ва РГО, дарёи Абукаҳҳор баста мешавад. Платинаҳои яхӣ дар натиҷаи ҷамъиавии миқдори зиёди об мешикананд ва ҷараёнҳои селҳои глятсионӣ зарари зиёде мерасонанд. Натиҷаҳои таҳқиқот имкони асосҳои мушиоҳиди кайҳонии пиряҳҳои коҳишиёбанд ва бо ёрии онҳо ошкор кардан ва пайгирии ҳаракатҳои ин пиряҳҳоро аз соли 1968 то 2020 дод. Дар ҳавзаи дарёи Ванҷ 47 пиряҳи коҳишиёбанд ошкор карда шуданд, ки ҳоло дар марҳалайи фаъол мебошанд.

**Калидвоҷсаҳо:** Помир, дарёи Ванҷ, мониторинг, набзиши пиряҳҳо, тасвири кайҳонӣ, тағйирёбии иқлим.

A. K. KAYUMOV, M. H. MURODOV

## APPLICATION OF REMOTE SENSING METHODS FOR MONITORING THE CONDITION OF SURGING GLACIERS IN THE VANJ RIVER BASIN

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

**Abstract.** The purpose of this work is to study the state of the glaciers in the Vanj River basin under the conditions of climate change using remote sensing.

The work used Sentinel-2 satellite images from August 27, 2018, and August 30, 2020, with L1C processing level and spatial resolution of 10 m; 2) Declass 1-3 satellite with a resolution of 2 m; 3) Landsat 1 and Landsat 5-9 satellite images; 5) ASTER GDEM2 digital elevation model (DEM). Glacier boundaries were decoded using ArcGIS.

Based on the processing of satellite images, the grouping of pulsating glaciers was carried out according to the degree of mobility and danger. During the movement of large pulsating glaciers, particularly Kherson and RGO, the riverbed of the Abukahor River is obstructed. Ice dams, as a result of accumulating a large amount of water, break, and glacial mudflows cause significant damage.

The results of the studies made it possible to formulate the basics of space monitoring of pulsating glaciers and, with their help, to detect and track the movements of these glaciers from 1968 to 2020. In the Vanj River basin, 47 pulsating glaciers were identified, which are currently in the active phase.

**Key words:** Pamir, Vanj river, monitoring, glacier surge, satellite image, impact of climate.

**КРИОСФЕРА**  
**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ЦЕНТР**  
**ИЗУЧЕНИЯ ЛЕДНИКОВ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК**  
**ТАДЖИКИСТАНА» № 2 (6), 2022 г.**

---

**ГЛЯЦИОЛОГИЯ**

УДК: 551.321: 528.71

А. К. КАЮМОВ<sup>1</sup>

**МОНИТОРИНГ ЛЕДНИКА ДИДАЛЬ С ПОМОЩЬЮ  
БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

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

*В данной статье на конкретном примере показано, что можно получить не только оценку современного состояния поверхности ледника, но и благодаря полученным высококачественным цифровым картам выявить изменение на леднике и прилегающих территориях. Пульсирующий ледник Дидаль за время исследования находится в стационарном состоянии, однако, при сравнительном анализе аэрофотоснимков 2019 и 2020 гг, был выявлен обвал горной породы над аккумуляционной зоне ледника в августе 2020 г.*

**Ключевые слова:** ледник Дидаль, реки Сурхоб, пульсирующий ледник, беспилотный летательный аппарат, аэрофотоснимки, обвалы, трещины, линеаменты.

### **Введение**

Актуальность использования БПЛА в перспективе определяется относительно низкой стоимостью БПЛА, малыми затратами на их эксплуатацию и за счет манёвренности весьма эффективными в высокогорных условиях [9].

Методы дистанционного зондирования Земли из космоса, миниатюризации цифрового съемочного и навигационного оборудования позволяют повышать оперативность и качество получаемой информации при

---

<sup>1</sup> Адрес для корреспонденции: Каюмов Абдулхамид Каюмович, 734025, Республика Таджикистан, Душанбе, проспект Рудаки, 33, Центр изучения ледников Национальной Академии наук Таджикистана. E-mail: [abdkayumov@mail.ru](mailto:abdkayumov@mail.ru)

проводении комплексных географических исследований [1]. Способы исследования геометрических и физических свойств дистанционных снимков, методы их получения и использования для определения количественных и качественных характеристик объектов успешно развиваются в рамках фотограмметрии [9]. Необходимо отметить, что фотографометрические способы позволяют экономично, быстро и достаточно точно решать непосредственно по снимкам некоторые прикладные задачи в гляциологии и криосфере.

Беспилотные технологии существуют давно. Сначала они были сложными и дорогостоящими комплексами, имевшими только военное применение. Но в течение последнего десятилетия в этой области произошел настоящий прорыв. Миниатюризация вычислительных систем и развитие спутниковой навигации (GPS/ГЛОНАСС) позволили создавать БПЛА, у которых габариты, масса, а главное, стоимость на порядки меньше прежних. По доступности беспилотные технологии приближаются к уровню бытовых технологий. Сейчас прогресс в развитии гражданских беспилотных систем имеет высочайший темп, сформировалась новая индустрия услуг. Например, стоимость одного часа вертолетного полета составляет от 4 до 5 тыс. американских долларов. Опыт показывает, что для исследования одного ледника требуется в среднем от 4 до 5 часов, что в сумме составляет от 20 до 25 тыс. долларов.

В последние годы в условиях изменения климата в Республике Таджикистан, ущерб от пульсирующих ледников увеличился в 2-3 раза [4-8,12-14], что представляет серьезную угрозу для народного хозяйства республики. В этих условиях значимость изучения и мониторинг пульсирующих ледников увеличивается [3-5,12-14].

**Целью** настоящей работы является, оценка состояние пульсирующего ледника Дидалъ с помощью БПЛА.

## **Район исследования**

Ледник Дидалъ расположен на северном склоне хребта Петра Первого в бассейне реки Сурхоб. Ледник сложно-долинный, имеет с правого борта небольшой приток. Дидалъ берет начало на крутых склонах пика Каудаль высотой 4778 м над уровнем моря [2].

**Характеристики ледника Дидалъ (№513):** Тип ледника – сложно - долинный, экспозиция – Северо-восточная, высота языковой части – 3220 м, максимальная высота – 3500 м. Площадь ледника – 1,6 км<sup>2</sup>, длина ледника – 4,8 км. Приток реки –бассейн реки –Сурхоб, координаты–38°59'24.13N 70°43'5.89"E [2].

## **Методы исследования**

При аэрофотосъёмке больших территорий и удалённых - труднодоступных горных территорий, для экономии времени более эффективными являются применение БПЛА самолётного типа с возможностью полёта более 1 часа и дальностью полёта около 10 км и более. В качестве летательного аппарата был использован микро БПЛА самолётного типа QC-2 Micro, размером 1,8 м на 1.1 м со временем полёта более 1 часа.

Для изучения текущего состояния ледника Дидалъ и получения высококачественных аэрофотоснимков местности были использованы беспилотные летательные аппараты (далее БПЛА).

Полетное задание для БПЛА самолетного типа QC-2 Micro создавалось в программе Mission planner. Фотограмметрическая обработка отснятого материала выполнялась в программном продукте Pix4D (табл. 1).

**Таблица 1****Тип БПЛА и параметры аэрофотосъёмки**

Район исследования	Высота полёта над уровнем моря в точке старта (м)	Макс. высота полёта над уровнем моря (м)	Разрешение снимков (см/пикселе)
Дидаль	2210	5060	28

**Результаты**

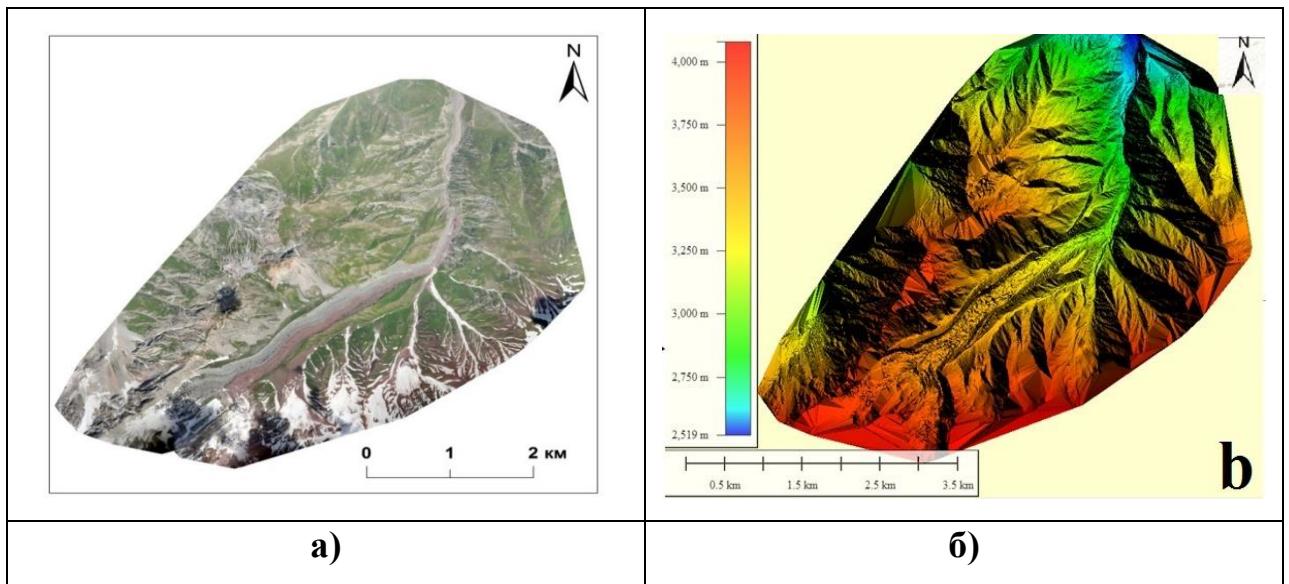
Были получены аэрофотоснимки на основе которых были созданы ортофотопланы и цифровые модели местности ледника Дидаль (рис. 4). Также данные, полученные с БПЛА, которые позволяют создавать топографические карты местности.

Данные, полученные с помощью БПЛА позволяют не только оценить современное состояние поверхности ледника, но и благодаря полученным высококачественным цифровым картам выявить изменение на леднике и в близлежащих территориях. Так, например, при сравнении аэрофотоснимков сделанных в 2019 и 2020 гг. на леднике Дидаль был зафиксирован обвал горной породы над аккумуляционной зоной ледника между 2019 и 2020 гг.

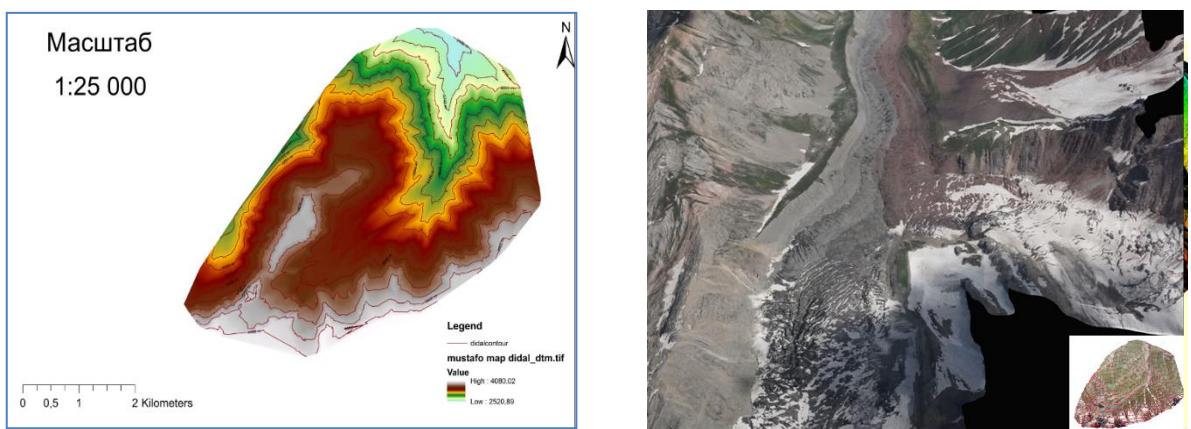
Наши результаты показали, что длина ледника Дидаль составляет, 5.4 км, что на 600 метров больше, чем показатели этого ледника в каталоге СССР (4.8 км) [2]. Вероятно это связано с пульсацией ледника в этом промежутке времени, что согласуется с данными Котлякова с соавторами.

Автоматическое выявление линеаментов осуществляется в двух этапах обработки. Первым этапом является обнаружение краёв, дающих информацию об областях резких изменений, значений соседних пикселей, тогда как второй этап позволяет обнаружить линии, реализация которых осуществлена с использованием модуля LINE программы PCI Geomatica, используемого для автоматического извлечения линеаментов [15-16]. В этом модуле применяются методы фильтрации и свёртки изображения для

увеличения резкости и выявления линейных структур тогда, как извлечение выявленных линеаментов проводится путём прослеживания смежных пикселей похожей яркостной интенсивности. При этом, важным является определение оптимальных параметров для выявления и извлечения линеаментов.



**Рис. 1. Карта (ортотомозаика) ледника Дидал (а) и цифровая модель местности (б) полученной после обработки аэрофотоснимков БПЛА (2019 г.)**



**Рис. 2. Топографическая карта и 3D модель местности Дидал на основе данных БПЛА (2019 г.)**

С целью выбора соответствующего снимка в качестве вводных данных модуля LINE, все три полосы изображение БПЛА сравнивались с точки зрения контраста и определении структурных особенностей (рис. 8). В результате визуальной интерпретации, первая полоса изображение БПЛА было выбрано для дальнейшей обработки. Выбранная полоса отражает хороший контраст с точки зрения структурных особенностей и линейных сегментов в то время как вторая и третья полоса на ряду с линейными сегментами отражают литологические границы. Именно поэтому первая полоса была выбрана для автоматического выявления и извлечения линейных сегментов в участке исследования.

Выбранное изображение - первая полоса изображение исследуемого ледника использовалось в качестве входных данных модуля LINE для составления карты линеаментов.

В процессе исследований была проанализирована корреляция между выделенными линеаментами и линейные структуры сегментов на растровой поверхности путём наложения автоматически извлеченных линеаментов на первом спектральном канале изображение БПЛА.

Следовательно, подтверждается высокая эффективность применённых оптимальных параметров для выявления и извлечения линеаментов в данном исследовании.

## **Выводы**

1. Метод дистанционного зондирования для изучения состояния ледников путём линеаментного картирования территорий пульсирующих ледников в Таджикистане можно говорить о состоянии пульсирующих ледников.
2. Постоянный мониторинг ледников с использованием беспилотных летательных аппаратов позволяет расширить инновационные методы в научных исследованиях. В дальнейшем также предполагается использовать полученные материалы для изучения состояния ледников.
3. Полученные аэрофотоснимки на основе которых были созданы впервые ортофотопланы и цифровые модели местности, а также топографическая карта ледника Дидалъ.
4. Использование детальных ортофотопланов при морфологическом анализе территории, а также трёхмерные модели могут быть использованы для получения информации о поперечных размерах отдельных форм рельефа поверхности ледника и их комплексов.

## **Литература**

1. Быков В.Л., Быков Л.В., Новородская М.В., Пущак О.Н., Шерстнева С.И. Применение данных дистанционного зондирования для информационного обеспечения системы точного земледелия // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – №1(21). – С. 146–153.
2. Каталог ледников СССР. Том 14. Средняя Азия. Выпуск 3. Амударья. Часть 6. Бассейн реки Сурхоб между устьями рек Обихингоу и Муксу. - Л.: Гидрометеоиздат, 1971, 92 с.
3. Каюмов А. К. Первая комплексная международная научная экспедиция

- по изучению состояния ледников и экологической ситуации в верховьях рек Вахш и Пяндж. Часть 1. Ледники и гидрология. – Душанбе: «Ирфон», 2013. – 150 с.
4. Каюмов А. К. Сафаров М. Т. Влияние неблагоприятных, опасных и стихийных гидрометеорологических явлений на основные отрасли экономики в условиях изменения климата: Руководящий документ. - Душанбе, 2013. - 48 с.
  5. Каюмов А. К. Салимов Т. О. Изменение климата и водные ресурсы Таджикистана. – Душанбе: «Ирфон», 2013. – 80 с.
  6. Котляков В.М., Осипова Г.Б., Цветков Д.Г. Космический мониторинг пульсирующих ледников Памира // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 4. С. 74–83.
  7. Котляков В. М, Чернова Л. П., Муравьев А. Я., Хромова Т. Е. Динамика пульсирующих ледников бассейна реки Сугран на Памире. //Доклады академии наук. 2019. Т. 489, № 3, С. 307–312
  8. Котляков в.м., Десинов Л.В.1, Десинов С.Л.1, Рудаков В.А. Подвижки ледников Памира в первые 20 лет XXI века. //Доклады Российской академии наук. Науки о земле. 2020. Т. 495. № 1 С. 64-68
  9. Павлов В.И. Фотограмметрия. Теория одиночного снимка и стереоскопической пары снимков. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 2006. – 175 с
  10. Adiri Z., el Harti A., et al. (2017). Comparison of Landsat-8, ASTER and Sentinel 1 satellite remote sensing data in automatic lineaments extraction: A case study of Sidi Flah-Bouskour inlier, Moroccan Anti Atlas. *Adv. Space Res.*, 60, 2355–2367.
  11. Aminov J., Xi C., et al. (2019). Comparison of multi-resolution optical Landsat-8, Sentinel-2 and radar Sentinel-1 data for automatic lineament extraction: A case study of Alichur area, S-E Pamir. *Remote Sensing*. 11, 778. <https://doi.org/10.3390/rs11070778>.

12. Kayumov A. Makhmadaliev B., Novikov V., Karimov U., Perdomo M National Action Plan of the Republic Tajikistan for Climate Change Mitigation - Dushanbe, Tajik Met Service, 2003, - 234 p. <http://unfccc.int/resource/natcom/nctable.html#nonannex1>
13. Kayumov A. Makhmadaliev B., Novikov V. Second National Communication of the Republic of Tajikistan under the United Nations Framework Convention on Climate Change. -Dushanbe, 2008. - 80 p (<http://unfccc.int/resource/docs/natc/tainc2.pdf>)
14. Kayumov A. Novikov V. The Third National Communication of the Republic of Tajikistan under the United Nations Framework Convention on Climate Change. -Dushanbe, 2014. 155 p [http://unfccc.int/resource/docs/natc/tjknc3\\_eng.pdf](http://unfccc.int/resource/docs/natc/tjknc3_eng.pdf)
15. Mostafa M. E., Qari M.Y.H. (1995). An exact technique of counting lineaments. Eng. Geol., 39, 5–15.
16. Qari M. H. T. (2011). Utilizing Image Processing Techniques in Lithologic Discrimination of Buwatah Area, Western Arabian Shield, Arabian Journal of Geosciences. Vol. 4, 13-24. doi:10.1007/s12517- 009-0049-x.

A. K. KAYUMOV

## MONITORING OF THE DIDAL GLACIER USING AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

State Scientific Institution "Center for the Research of Glaciers of the National Academy of Sciences of Tajikistan"

*Using a specific example article shows that it is possible to obtain not only an assessment of the current state of the glacier surface, but also, thanks to the resulting high-quality digital maps, to identify changes on the glacier and surrounding areas. pulsating Didal glacier. The glacier was in a stationary state during the study; however, a comparative analysis of aerial photographs from 2019 and 2020 revealed a rock collapse above the glacier accumulation zone in August 2020.*

**Keywords:** Didal glacier, Surkhob river, pulsating glacier, unmanned aerial vehicle, aerial photo, rockslides, crevasses, lineaments.

А. Қ. ҚАЮМОВ

## НАЗОРАТИ ПИРЯХИ ДИДАЛ БО ИСТИФОДАИ ҲАВОПАЙМОҲОИ БЕСАРНИШИН

*Муассисаи давлатии илмии "Маркази омӯзишии пиряҳҳои Академияи  
миллии илмҳои Тоҷикистон"*

*Дар мақолаи мазкур ниишон дода шудааст, ки на танҳо баҳодиҳии ҳолати ҳозираи  
сатҳи пиряҳҳоро, балки ба туфайли ҳаритаҳои рақамии баландсифат дар натиҷа ба  
даст овардашуда дар пиряҳ ва минтақаҳои атрофи он тағйиротҳоро муайян кардан  
мумкин аст. Пиряҳи набзонии Дидал дар вақти таҳқиқот дар ҳолати статсионарӣ буд.  
Аммо таҳлили муқоисавии аксҳои аз солҳои 2019 ва 2020 фурӯрошии санг дар болои  
минтақаи аккумуляционии пиряҳҳо дар моҳи августи соли 2020 ошкор шудааст.*

**Калидвожаҳо:** пиряҳи Дидал, дарёи Сурхоб, пиряҳи набзонӣ, ҳавопаймои  
бесарнишин, аксҳои ҳавоӣ, лағжишҳо, тарқишишҳо, ҳатҳо, тарқиши.

**КРИОСФЕРА**  
**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ЦЕНТР**  
**ИЗУЧЕНИЯ ЛЕДНИКОВ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК**  
**ТАДЖИКИСТАНА» № 2 (6), 2022 г.**

**ГЛЯЦИОЛОГИЯ**

УДК 551.324.63

А. К. ҚАЮМОВ<sup>1</sup>

**КАНДАШАВИИ ҚҰЛХОИ ПИРЯХИ БАРАЛМОС**

*Муассисаи давлатии илмии «Маркази омӯзиши пиряҳои  
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон»*

**Аннотатсия.** Муаллиф дар мақолаи худ нишон додааст, ки фуромадани сел ва қандашавии ҳавзҳои яхин дар солҳои охир дар дараи Арчакапта зиёд шуда истодааст. Муйаян карда шуд, ки агар 15-20 сол пеш дар давоми 4-5 сол як маротиба сел мефаромад, нас дар солҳои 2020 ва 2021 ҳамасола се-чор маротибагӣ селҳои шадид мефароянд ва шоҳроҳи аз минтақаи Лахш гузарандаро вайрон мекунанд. Танҳо дар ин минтақа хисорот ҳамасола на камтар аз 20 млн сомониро ташкил мекунад. Муаллиф натиҷагирий мекунад, ки ин пиряҳ таҳти назорати ҷиддӣ гирифта шавад ва таҳқиқот васеъ намуда, қандашавии ҳавзҳои пиряҳо моделсозӣ ва пешгӯйӣ карда шаванд.

**Калидвожаҳо:** Лахш, сел, сели глятсиалий, ҳавзҳои пиряҳ, қандашавии құлҳои пиряҳӣ, хисорот, вайроншавии роҳ.

**Муқаддима**

Мавриди зикр аст, ки дар Феҳристи пиряҳои ИҶШС номи ин пиряҳ “Баралмос” омадааст. Аммо ба гуфтаи қирғиззабонҳои ноҳияи Лахш ин пиряҳро “барилмас”, яъне «намеравам», “рафта намешавад” маънидод мекунанд, яъне пиряҳи хело ҳам душворгузар аст. Солҳои охир пиряхи Барилмас аз сабаби қандашави құлҳои яхини болои пиряҳ, ки сабабгори сар задани селҳои глятсиалии ҳаробовар мебошад, дар зери таваҷҷӯҳ ва назорати роҳбарияти Мақомоти иҷроияи маҷаллии ҳокимияти давлатии ноҳияи Лахш ва Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон ва инчунин дар таҳти омӯзиш ва таҳқиқи

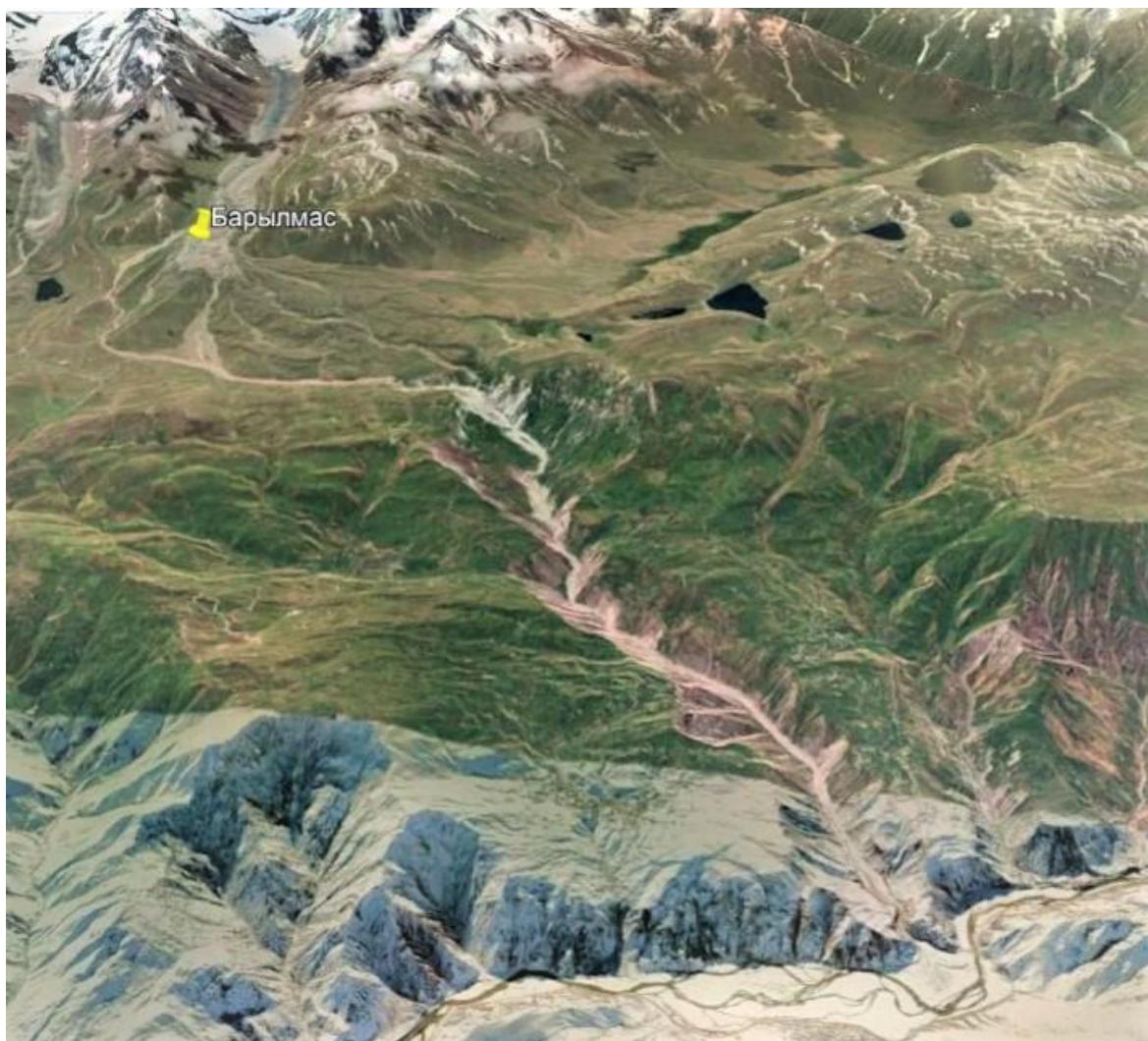
<sup>1</sup> Сурога барои мукомиба: Қаюмов Абдулҳамид Қаюмович. 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 33, Муассисаи давлатии илмии “Маркази омӯзиши пиряҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон”. E-mail: [abdkaimov@mail.ru](mailto:abdkaimov@mail.ru)

доимии Муассисай давлатии илмии “Маркази омӯзиши пиряҳҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон” қарор дорад.

Ин пиряҳ дар ноҳияи Лаҳш яке аз пиряҳҳои мебошад, ки ҷойгиршавии ҳавзҳо дар болои пиряҳ ва инчунин соҳти дарае, ки бо он дарё ҷорӣ мебошад, ҳангоми боришот сабабгори фаромадани сел мегардад. Махсусан, боришоте, ки фасли тобистон дар давраи аблятсионӣ, яъне обшавии босуръати пиряҳ дида мешавад, сабабгори асосии селҳои ҳаробиовар мебошад. Мутаассифона дар адабиёти мавҷуда маълумот оид ба ҳолати ҳавзаҳои яхини пиряҳи Баралмос вуҷуд надорад.

### **Минтақаи омӯзиш**

Пиряҳи Баралмос дар ноҳияи Лаҳш ҷойгир мебошад, лекин аз рӯйи тақсимоти гидрологӣ ба ҳавзаи дарёи Хингоб дохил мешавад. Пиряҳи Баралмос пиряҳи водигӣ буда дар арз ва тӯли  $39^{\circ}3'17.05''N$ ;  $71^{\circ}22'7.81''E$  ҷойгир шуда, дарозии пиряҳи Баралмос 9200 метр ва паҳноияш то ба 570-590 метр мерасад. Ҳаҷми он  $4,9 \text{ km}^2$  буда, нуқтаи баландтарини он 5000 метр баландро дар бар мегирад. Аз қисми забона то қисми фирмавӣ он 6517 метр баробар мебошад. Дар сатҳи баландӣ аз 30,9 % то ба 80,4% тағиирот дида мешавад, ки дар қисмати аккумулятсионӣ кор бурдан бе таҷҳизоти махсус ғайриимкон аст (расмҳои 1-3).



**Расми 1. Намуди умумии пиряхи Баралмос бо минтақаи ташаккулёбии сел**



**Расми 2. Минтақаи селдарой ба дарёи Сурхоб, ки маңрои дарёро дигаргун кардааст**



**Расми 3. Ҳавзаи пиряхи Бааралмос, ки дар фасли тобистон яке аз минтақаҳои асосии боришот ва боиси ба вуқуъ пайвастани селҳои глятсиалий мебошад. Қисми яхбандии зеризаминӣ, ки қаблан ба пиряхи Бааралмос мансуб буд, бо ранги кабуд нишон дода шудааст**

### **Усулҳои омӯзиш**

Барои муайян кардани мувозинати пиряҳ, инчунин ҳудуд ва хусусиятҳои морфологӣ ва гидрологии он ченакҳо гузаронида шуда истодааст. Ҳамзамон дар доираи ин омӯзишҳо тафсир ва таҳлили тасвирҳои кайҳонӣ гузаронида шуданд. Бар замми ин аксҳои ҳавоӣ гирифта шуда, ҳаритаҳои топографӣ омода гардида, натиҷаҳои ченакҳои геодезӣ низ мавриди баррасӣ қарор дода шуданд.

### **Натиҷа**

Барои омӯзиши пиряхи Бааралмос иштирокчиёни экспедитсия ба ду гурӯҳ тақсим шуда, як гурӯҳ қисми забонаи пиряхи Бааралмосро омӯхта, гурӯҳи дигар қисми болои пиряҳ, ки дар баландии зиёда аз 4000 метр аз сатҳи баҳр ҷойгир аст, корҳои илмӣ - таҳқиқотӣ гузарониданд.

Дурустии мавқеи нисбии сарҳади пиряҳ дар асоси тасвирҳо ва дигар маълумоте, ки дар замони муосир ба даст оварда шудаанд, муқоисаи мавқеъи ҳудуди устувори релеф (моренаҳои қадимӣ, фурӯрафтаҳои ростхатта,

чараёнҳои об, қаторкӯҳҳо, қуллаҳо, сангҳо ва хокпӯшҳо мебошанд), ки асосан дар релефи нисбатан мулоим ва дар наздикии забонаи пиряҳ ҷойгиранд.

Тибқи натиҷаҳои экспедитсияи гузаронидашуда маълум гардид, ки забонаи пиряҳ аз сатҳи баҳр дар баландии 3400 - 3500 метр аз сатҳи баҳр қарор дорад. Дар қисми поёни моренаи пиряҳ хоктӯдаҳои зиёде солҳои тӯлонӣ ҷамъ гардидааст, ки айни замон дар ин қисмат тамоман пиряҳ дида намешавад, чунки сатҳи он бо морена пӯшида шудааст.

Бояд қайд кард, ки аз қисми забонаи пиряҳ поёнтар нишонаҳои яхбандии асрҳои гузашта (давраи чорум) ба назар мерасанд, ки эҳтимол меравад, ки онҳо ҳангоми қандашавӣ ва ҳаракати пиряҳ ба вучуд омадаанд ва ҳоло болои ях хокпӯш шуда, инчунин бутта ва сабза баромадааст. Дар расми З ин ҳолат бо ранги қабуд нишон дода шудааст. Масоҳати мавзеи мазкур  $6,34\text{ km}^2$  ва дарозиаш дар маҷмуъ  $2,8\text{ km}$  мебошад. Барои аниқ муайян кардани масоҳати яхбандии зеризаминиӣ боз ҳам таҳқиқоти маҳсус гузаронидан зарурият дорад.

Дар расм дар қисми поёни дара баръало мушоҳида мешавад, ки аз сабаби доимо фаромадани сел дарё маҷрои худро дигар кардааст (расми 2). Ин минтақаи роҳ солҳои охир аз сабаби фаромадани сел доимо ҳаробу валангор мешавад.

Омӯзиши болои пиряҳ то қисми поёни минтақаи аккумулятсионӣ, ки дар баландии 4000 - 4500 метр аз сатҳи баҳр ҷойгир аст, собит соҳт, ки асосан ҳавзҳои яхин дар масофаи  $2\text{ km}$  аз қисми поёни забонаи пиряҳ ҷойгиранд, ки баландии 3500-3600 метрро ташкил медиҳад. Дар баландии 3700-4200 метр дар болои пиряҳ ҳавзҳои яхин ба назар намерасанд. Сабаби асосии ин ҳолат, нисбатан паст будани ҳарорати ин қисмати пиряҳ аст, ки обшавии пиряҳ камтар мебошад. Обҳои равоне, ки миқдоран каманд, танаи пиряҳро ҳангоми

харакат кардан рахна карда ба поён мешоранд ва ин қисмати пиряхро ноҳамвон месозанд (расми 4).



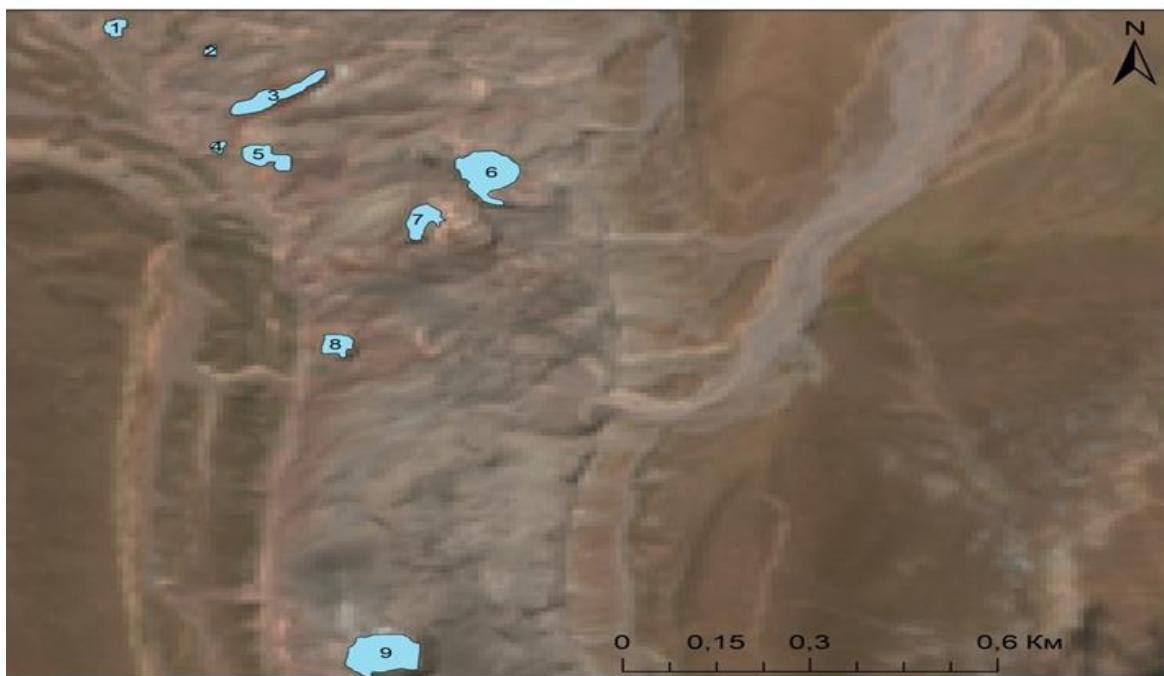
**Расми 4. Дар қисми болоии пиряхи Баралмос дар баландии 3900 то 4000 метр ҳавзҳои яхин ба назар намерасанд**

Дар акс Дилором Қаюмова - нахустин бонуи тоҷик, ки дар давраи соҳибистиқлолӣ соли 2021 ба баландии 4000 метр аз сатҳи баҳр баромада, вазъи омӯзиши ҳолати пиряҳҳо, аз он ҷумла пиряхи «Баралмос»-ро таҳқиқ намудааст, гарчанде, ки пиряхи мазкур душворгузар аст. Ин фатҳ ба истиқболи ҷаҳонӣ 30 – солагии Истиқлоли давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон баҳшида мешавад.



**Расми 5. Ҷоришавии оби пириях аз қисми рости пириях, манбай ин об асосан дарёчаҳои равоне, ки аз зери пириях мегузаранд ба ҳисоб мераванд (3400 м)**

Кӯлҳое, ки дар болои пириях мавқеъ доранд дар давоми солҳои дуру дароз ба вуҷуд омадаанд. Ин кӯлҳо ҳар сол масоҳаташон калон ё хурд мешаванд ва ё ин ки баъзан мавридҳо тамоман аз байн мераванд. Тадқиқот нишон дод, ки миқдори кӯлҳо дар болои пириҳи Баралмос 9 ададро ташкил мекунанд ва онҳо ҳаҷман гуногунанд (расми 6).



**Расми 6. Кӯлҳои болои пириҳи Баралмос**

Барои баҳо додани ҳолати ҳавзҳои болои пиряҳи Баралмос масоҳати қӯлҳои солҳои 2016 ва 2020-ро низ таҳлил намудем. Натиҷаҳои таҳлил нишон доданд, ки соли 2016 майдони умумии қӯлҳо, ки дар пиряҳ мавҷуд буданд ба  $0,029 \text{ km}^2$  баробар буд. Таҳлили маводи кайҳонӣ дар соли 2020 гувоҳи онанд, ки масоҳати қӯлҳо ба  $0,034 \text{ km}^2$  баробар гардид. Ин нишондод нисбати соли 2016  $0,05 \text{ km}^2$  зиёдтар мебошад, ки ин  $50000 \text{ m}^2$  ташкил мекунад ва ба 8,3 майдони футбобозӣ ( $6000 \text{ m}^2$ ) баробар аст.

Қӯли рақами 6-и болои пиряҳи Баралмос агар дар соли 2016- $0,003 \text{ km}^2$  -ро ташкил мекард, пас дар соли 2020 ба  $0,009 \text{ km}^2$  расид, ки ин  $0,006 \text{ km}^2$  -ро ташкил мекунад. Қӯли рақами 9 дар соли 2016 ҳамагӣ  $0,001 \text{ km}^2$  масоҳат дошт, соли 2020 бошад ин нишондод ба  $0,01 \text{ km}^2$  расид, ки ин  $0,009 \text{ km}^2$  зиёд мебошад ва ин ба  $9000 \text{ m}^2$  баробар аст.

Натиҷагирии чунин таҳлилҳо далели он мебошанд, ки нисбат ба соли 2016 селфароӣ дар соли 2020 зиёд шудааст. Далелҳои мазкур пурра тасдиқ шуданд дар ҳолате, ки мо миқдори селфароиро дар ин муддат таҳлил кардем. Мувофиқи нишондоди соҳторҳои марбутаи ноҳияи Лахш дар давоми даҳ соли охир, хусусан дар 3-4 соли охир миқдори селҳои ҳаробиовар бениҳоят зиёд шудааст. Инчунин далелҳое, ки дар давоми экспедитсияҳои солҳои 2020 - 2021 ба даст овардем, нишон доданд, ки дар давраи солҳои 2020 - 2021, ҳар сол се маротиба, аз ҷумла селҳои ҳаробиовар мушоҳида мешаванд. Соли 2021 дар натиҷаи селфароӣ шоҳроҳе, ки аз минтақаи Лахш мегузарад пурра вайрон шуд, ки хисороти он 20 миллион сомониро ташкил менамояд.

Барои омӯзиши ҳолати гидрологии ҳавзҳои Баралмос, дар яке аз қӯли қалоне, ки масоҳаташ  $\sim 12000 \text{ m}^2$  ташкил мекунад ва дар қисми забонаи пиряҳ ҷойгир аст (**расми 7**) дастгоҳи худсабткунандаи гидрологӣ наасб карда шуд, ки чунин нишондодҳоро сабт менамояд: сатҳи об, ҳарорати об ва ҳарорати болои об.



### Расми 7. Кӯли болои пиряхи Баралмос

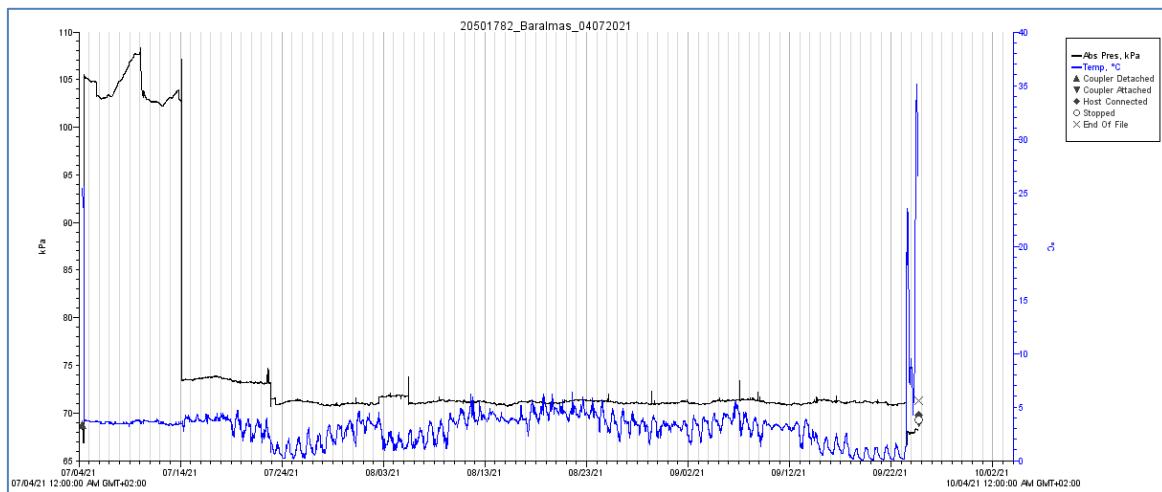
Дар қисми забонаи пиряхи Баралмос якчанд кӯлҳои калони дигар низ мавҷуданд. Таҳқиқоти хатсайр ба мо имкон дод, ки вазъи кӯлҳои пиряҳро муайян намоем ва кӯлҳои Баралмос низ пурра аксбардорӣ карда шудаанд. Дар яке аз кӯлҳои калони пиряҳӣ 2 сенсор барои чен кардани ҳарорати оби кӯл наасб карда шуд, ки якеаш дар сатҳи кӯл ва дигаре дар чуқурии 50 см мавқеъ дошта, инчунин барои чен кардани сатҳи оби кӯл як дастгоҳи худсабткунанда наасб карда шуд. Ин дастгоҳҳо барои кори дарозмуддат ва инчунин бо батареяи баландшиддат таъмин карда шуданд. Маълумот аз ин сенсорҳо охири моҳи сентябр гирифта шуд. Инчунин моҳи июни соли 2021 дар се ҳавзи болои пиряхи Қизилсу системаи бақайдгирии фишор ва ҳарорати об наасб карда шуд, ки барои беҳтар кардани модели дренажии пиряҳҳо муфид хоҳад буд. Бояд қайд кард, ки сабти фишори оби ҳавзӣ яке аз нишондоди баланд ва пастшавии оби ҳавз ба шумор меравад.

Таҳлили аввалияи нишондоди сабти фишори оби ҳавзи пиряхи Баралмос нишондоди баландии оби ҳавз мебошад, ки дар пиряхи Қизилсу нишондоди назаррасро ба қайд нағирифтанд. Аммо дар нимаи моҳи июл асбоби сабткунанда якбора коҳиш ёфтани фишори обро дар пиряхи Баралмос ба қайд гирифт, ки ин нишондод ҷолиби таваҷҷуҳ мебошад.

Дар таърихи 14 - уми июля соли 2021 ҳолати фаромадани сели шиддатнок дар дарёи Арчамазор, ки омада ба дарёи Сурхоб мерезад, мушоҳида карда шуд, ки он қариб 500 метр шоҳроҳеро, ки аз минтақаи Лахш мегузарад вайрон намуда, маҷрои дарёи Сурхобро маҳкам кард.

Таҳлили муфассал нишон дод, ки рӯзи 14 - уми июля соли 2021 баландии сатҳи оби ҳавзи дар болои пирях буда, дар давоми 15 дақиқа якбора се метр поён фаромадааст ва ҷоришавии шиддати оби ихроҷшаванд аз ҳавзи мазкур таҳминан  $45 \text{ m}^3/\text{s}$  буд.

Мувоғиқи нишондоди пулвиометр (асбоб барои ҷен кардани боришот) дар ин рӯз боришот 10-17 мм-ро ташкил менамуд, ки ин ҳуд омили сар задани сел дар ин минтақа мебошад. Ду омил, боришот ва дар натиҷаи лабрез шудан ва қандашавии ҳавзаҳои болои пирях сабабгори ба вуқӯъ пайвастани сели шадид дар дараи Арчамазор гардиданд.



**Расми 8. Тағйирёбии сатҳи оби ҳавзи болои пиряхи Баралмосро (сиёҳ) ва ҳарорати обро (қабуд) рӯзи 14 июля соли 2021 ба мушоҳида гирифтем**

Соли 2020 се маротиба фаромадани сел ба қайд гирифта шуда буд. Имсол низ се маротиба сел фаромад, маҳсусан селе, ки рӯзи 14 июля соли 2021 ба вуқӯъ пайваста буд, қисмати роҳро пурра ҳароб намуд.



**Расми 9. Ҳангоми омадани сел (14.07.2021 соати 03:00 дақиқа)  
шоҳроҳе, ки аз маркази ноҳияи Лахш мегузарад, пурра ҳаробу валангор  
ва зери об монд**



**Расми 10. Минтақаи селфаро, ки сел доимо фаромада, мачрои дарёи  
Сурхобро мебандад, баландии боқимондаи сел аз 10 то 15 метро ташкил  
медиҳад**



### **Расми 11. Ҳолати боқимондаи қисмати роҳ**

Хусусиятҳои ташаккули сел дар фасли тобистон дар минтақаи Баралмос дар он аст, ки мавсими тобистон боришот дар баландии зиёда аз 3200 - 3500 метр мунтазам мушоҳида мешавад. Ҷойгиршавии пиряҳҳо дар ҳамин минтақа оғоз мешавад. Дар охири моҳи июн ва то аввалҳои моҳи сентябр обшавии шадиди пиряҳҳо ба амал меояд. Асосан обшавии худи пиряҳҳо ва боришот дар ин фасли сол дар алоҳидагӣ боиси сел намегардад, аммо дар ин маврид ду омил якҷоя шуда, боиси ба вучуд омадани синергия ва афзоиши ҳаҷм ва ҷараёни об мегардад.

Омили дигар, ин нуқтаи болоии пайдошавии сел ва нуқтаи ниҳоиे, ки сел омада мерасад ба ҳисоб меравад. Дар ин минтақаи Арҷакаппа нуқтаи болоӣ 3500 метр аз сатҳи баҳрро ташкил медиҳад, нуқтаи ниҳоӣ бошад 1800 метр аз сатҳи баҳр аст, ки ин дар асл фаромадани сел аз баландии 1700 мебошад. Дар ин ҳолат ҳаҷми сел дар қисми болоии дара он қадар зиёд ҳам набошад, лекин аз ҳисоби суръат метавонад сангҳо хоки зиёдро ҷамъ намуда, боиси хисороти зиёд шавад.

## ХУЛОСА

1. Фаромадани сел ва кандашавии ҳавзҳои яхин дар солҳои 2020 ва 2021 дар дараи Арчакаппа зиёд шуда истодааст, ки мавзеи селфарой мебошад, ҳамасола се маротибагӣ селҳои шадид мефароянд ва шоҳроҳе, ки аз минтақаи Лахш гузарандаро вайрон мекунад. Танҳо дар ин минтақа хисорот ҳамасола на камтар аз 20 – 30 млн сомониро ташкил мекунад.
2. Боришоте, ки дар баландии 3500 метр баланд аз сатҳи баҳр меборад таҷҳизоти Агентии обуҳавошиносӣ онро ба қайд намегиранд, чунки таҷҳизоти онҳо дар баландии 2000 метр аз сатҳи баҳр ҷойгиранд, ки ин яке аз сабабҳои аз мадди назар дур мондани маълумоти дақиқ дар ин минтақа мебошад.
3. Таҷҳизоти замони муосир барои омӯзиши ҳарорати ҳаво, боришот, радиатсияи офтоб, раванди обшавии ва ҳаракати пиряҳҳо, ҳолати гидрологии кӯлҳои пиряҳ, обҳои ҷоришаванда аз пиряҳ наасб карда шуданд ва маълумоти аввалия дастрас шуданд, ки айни замон дар сатҳи омӯзиш ва таҳқиқ қарор доранд.
4. Ҳолати ба миён омада тақозо мекунад, ки пиряҳи Баралмос таҳти назорати доимӣ гирифта шавад ва таҳқиқотҳо васеъ карда шуда, кандашавии ҳавзҳо пиряҳро моделсозӣ ва пешгӯйи карда шаванд.

А. К. КАЮМОВ

## ПРОРЫВ ЛЕДНИКОВЫХ ОЗЕР НА ЛЕДНИКЕ БАРАЛМАС

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

**Аннотация.** Автор в статье показал, что в последние годы в ущелье Арчакаппа участились сход лавин и прорывы ледниковых озер. Определено, что если 15-20 лет назад селевые потоки случалось раз в 4-5 лет, то в 2020 и 2021 годах сильные наводнения наблюдались три-четыре раза в год и в последствие была разрушена международная дорога, проходящую через Лахшский район. Ущерб от селевых потоков составляет не менее 20 миллионов сомони в год. Автор рекомендует взять под постоянное наблюдение этот ледник, расширить исследования, смоделировать и спрогнозировать прорывы ледниковых озер.

**Ключевые слова:** Лахш, сель, гляциальные сели, ледниковые озёра, прорыва ледниковых озер, ущерб, повреждение дорог.

А. К. KAYUMOV

## GLACIAL LAKE OUTBURSTS ON THE BARALMAS GLACIER

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

**Annotation.** The author in the article showed that in recent years in the Archakappa Gorge avalanches and glacial lake outbursts have become more frequent. It is determined that if 15-20 years ago debris flows occurred once every 4-5 years, in 2020 and 2021 severe floods were observed three or four times a year and as a consequence the international road passing through Lakhsh district was destroyed. The damage caused by mudflows amounts to at least 20 million TJS per year. The author recommends taking this glacier under permanent observation, expanding research, modeling and forecasting glacial lake outbursts.

**Key words:** Lakhsh, mudflow, glacial mudflows, glacial lakes, glacial lake outbursts, damage, road damage.

## Барои муаллифон

### Қоидаҳои омода намудани мақолаҳо, ки ба маҷаллаи «Криосфера»-и Муассисаи давлатии илмии «Маркази омӯзиши пиряҳҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон» барои нашр пешниҳод мешаванд

Маҷаллаи «Криосфера»-и Муассисаи давлатии илмии «Маркази омӯзиши пиряҳҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон» натиҷаҳои аслӣ ва муҳиммтарини таҳқиқоти илмиро дар соҳаи криосфера, пиряҳшиносӣ, иқлиминосӣ, метеорология, гидрология, экология ва санитария инъикос меқунад.

#### Тартиби мақола

Мақола бояд мухтасар навишта, хуб таҳрир ва бодиққат тафтиш карда шавад. Даствавис бояд ба забонҳои тоҷикӣ, русӣ ё англисӣ ҳамчун файл дар формати MS Word (.doc ё .docx), бо шрифти стандартии Times New Roman, андозаи ҳуруфи 14, бо фосилаи якуним сатр пешниҳод карда шавад.

Ҳадди ниҳоии иҷозатдодашудаи мақола 14 саҳифа ё 40 000 аломат бо шумули фосилаҳо мебошад. Ҳангоми муайян кардани ҳаҷми мақола аксҳо низ ба инобат гирифта мешаванд (акс дар як саҳифа ба 1800 аломат баробар аст). Ҳаҷми мақолаҳои фармоиширо ҳайати таҳририя муайян меқунад.

Сатрҳо дар як сарҳат набояд дастӣ тарҷума карда шаванд (вориди “нарм”, фосилаҳо, ҷадвалҳо ва т.д.). Аломати оҳири сарҳат (¶ - «Enter») танҳо дар оҳири сарҳат ҷойгир карда мешавад.

Дар байни калимаҳо зиёда аз як фосила гузошта намешавад, дар доҳили калимаҳо фосила истифода намешавад, сатрҳо бо истифода аз сарҳатҳо гузаронида мешаванд, аломатҳои китобатиро бо фосила аз калимаи қаблӣ ҷудо накунед. Дар калимаҳо набояд дефис бошад.

#### Дар аввали мақола бо забони аслии мақола инҳо аз сарҳат навишта мешаванд:

- Рақами таснифоти универсалии даҳӣ (УДК)
- Ном ва насаб (бо ҳарфҳои калон)
- Номи мақола (бо ҳарфҳои калон)
- Номи ташкилоте, ки кор дар он иҷро шудааст (муаллифи якум)
- Фишурда (150 - 250 калима)
- Калидвожаҳо (2 - 5 калима)
- Дар оҳири мақола маълумот бо забонҳои англисӣ ва тоҷикӣ мунтазам оварда мешавад.

#### Мақола бояд дар бар гирад:

- Сарсухани мухтасар
- Ҳадафи омӯзиш
- Мавод ва тарзҳои таҳқиқот
- Натиҷаҳои таҳқиқот ва муҳокимаи онҳо
- Ҳулосаҳо
- Адабиёт

Файл бо матни мақола бояд маълумоти зеринро дар бораи **муаллиф(ҳо) дошта бошад**:

- Рӯйхати пурраи муаллифон (ном ва насаб). Қайд намудан лозим аст, ки кадоме аз муаллифон барои мукотиба масъуланд.
- Ҷойи асосии кори ҳар як муаллиф (агар вуҷуд дошта бошад) дар парвандаи номзадӣ, вазифаи ишғолкарда, дараҷаи илмӣ, унвони муаллиф (ҳо). Агар муаллифон дар ташкилоти гуногун кор қунанд, пас бояд маълум бошад, ки кадоме аз онҳо дар кадом муассиса кор мекунад. Агар ҳамаи муаллифони мақола дар як муассиса кор ё таҳсил қунанд, ҷойи кори ҳар як муаллифро алоҳида қайд намудан лозим нест.
- Суроғаи электронии муаллифе, ки барои мукотиба масъул аст.

**Намунаи тартиби сарлавҳаи расмҳо – Акси. 1. Номи акс (дар марказ воқеъ мегардад)**

**Рас. 2. Номи акс.** (Times New Roman, андоза 12)

### **Чадвалҳо ва формулаҳо**

Тартиб додани формулаҳо, чадвалҳо, диаграммаҳо бо истифода аз панели асбобҳои стандартӣ анҷом дода мешавад.

Намунаи тарҳрезии сарлавҳаи чадвал.

#### **Чадвали 1.**

Номи чадвал. (дар болои чадвал, дар марказ ҷойгир мешавад)

#### **Чадвали 2**

Номи чадвал

Дар поёни чадвал пайванд ба манбаи асосӣ гузошта мешавад.

### **Рӯйхати адабиёт**

Рӯйхати адабиёт бояд маълумоти адабиётҳоро дар бораи нашрияҳои дар мақола зикршуда дар бар гирад ва истинод ба нашрияҳое дар бар нагирад, ки дар матн оварда нашудаанд. Истинодҳо ба маводи нашрнашуда иҷозат дода намешавад. Истинодҳо бо забонҳои хориҷӣ дар шакли аслии худ боқӣ мемонанд.

Истинодҳо ба адабиёти иқтибосшуда дар қавсҳои мураббаъ оварда мешаванд, масалан: [1], [1,3-5]. Рӯйхати истинодҳо дар рӯйхати умумӣ (таҳти сарлавҳаи «Адабиёт») бо тартиби дар матн оварда шуда, тартиб дода мешавад:

Барои китобҳо: ном ва насаб, номи пурраи китоб, ҷойи нашр, ношир, соли нашр, ҷилд ва ё шумораи нашр, шумораи умумии саҳифаҳо.

Барои нашрияҳои даврӣ: ном ва насаб, номи нашр, соли нашр, ҳаҷм, шумора, саҳифаҳои аввал ва охири мақола:

Пеш аз ҷойи нашр – тире, инчунин дар байни ҷойи нашр ва ношир тире гузошта мешавад, пеш аз соли чоп – вергул ва пеш аз номи маҷалла тире гузошта мешавад

#### **Масалан:**

1. Долгушин Л. Д., Осипова Г. Б. Природа Мира. Ледники. – М.: Мысль, 1989, -448 с.
2. Котляков В. М. Подвижки ледников Памира в первые 20 лет XXI века / В. М. Котляков, Л. В. Десинов, С. Л. Десинов, В. А. Рудаков // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2020. – Т. 495. – № 1. – С. 64-68. – DOI 10.31857/S2686739720110080.

## Для авторов

### Правила оформления статей, представленных в журнал «КРИОСФЕРА» Государственного научного учреждения «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана» для публикации

Журнал «КРИОСФЕРА» Государственного научного учреждения «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана» освещает оригинальные и наиболее существенные результаты научных исследований в области криосферы, гляциологии, климатологии, метеорологии, гидрологии, экологии и санитарии.

#### Оформление статьи

Статья должна быть написана в сжатой форме, хорошо отредактирована и тщательно проверена. Рукопись должна быть представлена на таджикском, русском или английском языке в виде файла в формате MSWord (.досили .docx), стандартным шрифтом Times New Roman, кегль 14, с полуторным междустрочным интервалом.

Максимально допустимый объем статьи составляет 14 страниц или 40000 знаков включая пробелы. Рисунки также учитываются при объеме статьи (рисунок на одну страницу приравнивается к 1800 знакам). Объем заказных статей определяется редакцией.

Строки внутри одного абзаца не должны переводиться вручную («мягкий» ввод, пробелы, табуляции и пр.). Символ конца абзаца (¶ - «Enter») ставится только в конце абзаца.

Не набирать более одного пробела между словами, не делать разрядку пробелами внутри слова, смещение абзацев делать с помощью абзацных отступов, не отделять знаки пунктуации пробелами от предшествующего слова. Переносы в словах должны отсутствовать.

#### В начале статьи на языке оригинала указываются с красной строки:

- Номер по Универсальной десятичной классификации (УДК)
- Инициалы и фамилия автора (строчными буквами)
- Название статьи (строчными буквами)
- Название организации в которой выполнялась работа (*первого автора*)
- Краткая аннотация (150-250слов)
- Ключевые слова (3 - 5).
- В конце статьи в той же последовательности информация приводится на английском и таджикском языках.

#### Статья должна содержать:

- Краткое введение
- Цель исследования
- материалы и методы исследования
- результаты исследования и их обсуждение
- выводы
- список литературы

#### Файл с текстом статьи должен содержать следующие сведения об авторе(ах):

- Полный список авторов (инициалы и фамилии). Необходимо указать, кто из авторов ответственен за переписку.

- Основное место работы каждого автора (если таковое имеется) в именительном падеже, занимаемая должность, ученая степень, звание автора(ов). Если авторы работают в разных организациях, то должно быть понятно, кто и в какой именно организации работает. Если все авторы статьи работают или учатся в одном учреждении, можно не указывать место работы каждого автора отдельно.

- Адрес электронной почты автора, ответственного за переписку.

Пример оформления под рисуночной подписи Рис. 1. **Название рисунка.** (располагается по центру)

**Рис. 2. Название рисунка.** (Times New Roman, кегль 12)

### **Таблицы и формулы**

Оформление формул, таблиц, схем осуществляется с помощью стандартной панели инструментов.

Пример оформления заглавий таблиц,

*Таблица 1.*

*Название таблицы.* (располагается над таблицей, по центру)

**Таблица 2**

Название таблицы.

Под таблицей обозначается ссылка на основной источник.

### **Список литературы**

Список литературы должен содержать библиографические сведения обо всех публикациях, упоминаемых в статье и не содержать указаний на работы, на которые в тексте нет ссылок. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Ссылки на иностранных языках остаются в оригинальном варианте.

Ссылки на цитируемую литературу даются в квадратных скобках, например: [1], [1,3-5]. Список литературы приводится общим списком (под заголовком «Литература») в порядке упоминания в тексте и оформляется следующим образом:

Для книг: фамилия и инициалы автора, полное название книги, место издания, издательство, год издания, том или выпуск, общее количество страниц.

Для периодических изданий: фамилия и инициалы автора, название издания, год издания, том, номер, первая и последняя страницы статьи:

Перед местом издания ставится тире, между местом издания и издательством - двоеточие, перед годом издания - запятая, перед названием журнала - тире.

### **Например:**

1. Долгушин Л. Д., Осипова Г. Б. Природа Мира. Ледники. – М.: Мысль, 1989, -448 с.
2. Котляков В. М. Подвижки ледников Памира в первые 20 лет XXI века / В. М. Котляков, Л. В. Десинов, С. Л. Десинов, В. А. Рудаков // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2020. – Т. 495. – № 1. – С. 64-68. – DOI 10.31857/S2686739720110080.

## For authors

### **Rules for article configuration submitted to the journal “CRYOSPHERE” of the State Scientific Institution “Center for Glacier Research of the National Academy of Sciences of Tajikistan” for publication**

The journal “Cryosphere” of the State Scientific Institution “Center for Glacier Research of the National Academy of Sciences of Tajikistan” covers original and most significant results of scientific research in the field of cryosphere, glaciology, climatology, meteorology, hydrology, ecology and sanitation.

#### **Article configuration**

The article should be written in a concise form, well edited and carefully checked. The manuscript should be submitted in Tajik, Russian or English as a file in MS Word format (.doc or .docx), in standard Times New Roman font, 14 point font, with one and a half line spacing.

The maximum allowed length of the article is 14 pages or 40000 characters including spaces. Figures are also taken into account in the volume of the article (a figure per page is equal to 1800 characters). The volume of commissioned articles is determined by the editorial staff.

Lines within a paragraph should not be entered manually (“soft” input, spaces, tabs, etc.). The end-of-paragraph symbol (¶ - “Enter”) should be placed only at the end of a paragraph.

Do not type more than one space between words, do not space within a word, do not indent paragraphs with paragraph indents, do not separate punctuation marks with spaces from the preceding word. There should be no hyphenation in words.

#### **The beginning of the article in the original language is indented:**

- Universal Decimal Classification (UDC) number.
- Author's initials and surname (capital letters.)
- Title of the article (capital letters).
- Name of the organization where the work was completed (first author).
- Short abstract (150-250 words).
- Key words (3 - 5).
- At the end of the article, information is provided in English and Tajik in the same sequence.

#### **The article should contain:**

- short introduction.
- research objective.
- materials and methods of research.
- research results and discussion.
- Conclusion.
- list of references.

The file with the text of the article should contain the following information about the author(s):

- Full list of authors (initials and surnames). It is necessary to indicate which of the authors is responsible for the correspondence.
- The main place of work of each author (if any) in nominative case, position held, academic degree, title of the author(s). If the authors work in different organizations, it should be clear who works in which organization. If all authors of the article work or study in the same institution, it is possible not to indicate the place of work of each author separately.
- E-mail address of the author responsible for correspondence.

**Example of drawing caption. Figure 1.** Title of the figure. (centered). Figure title. (placed in the center)

**Figure 2. Title of the figure.** (Times New Roman, font size 12)

### Tables and formulas

Formulas, tables and schemes are organized using the standard toolbar.

Example of table titles,

*Table 1.*

Table title. (placed above the table, centered)

### Table 2

Table title

A reference to the main source is indicated under the table.

### List of references.

The reference list should contain bibliographic information about all publications mentioned in the article and should not contain references to works that are not cited in the text. References to unpublished works are not allowed. References in foreign languages remain in the original version.

References to the cited literature are given in square brackets, e.g.: [1], [1,3-5]. The list of references is given in a general list (under the heading "Literature") in the order of mentioning in the text and is arranged as follows:

For books: author's surname and initials, full title of the book, place of publication, publisher, year of publication, volume or issue, total number of pages.

For periodical publications: surname and initials of the author, title of the publication, year of publication, volume, number, first and last pages of the article:

A dash is placed before the place of publication, a colon between the place of publication and the publisher, a comma before the year of publication, and a dash before the name of the journal.

### For example:

1. Долгушин Л. Д., Осипова Г. Б. Природа Мира. Ледники. – М.: Мысль, 1989, -448 с.
2. Котляков В. М. Подвижки ледников Памира в первые 20 лет XXI века / В. М. Котляков, Л.В. Десинов, С. Л. Десинов, В. А. Рудаков // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2020. – Т. 495. – № 1. – С. 64-68. – DOI 10.31857/S2686739720110080.

## **«КРИОСФЕРА»**

Мұхаррир: М. Кенчаев  
Ороишгар: Х. Д. Навruzшоев  
Мусаққөш: Н. О. Бахтибекова