



**МАТЕРИАЛЫ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ  
ЭКОЛОГИИ И КЛИМАТА»,  
ПОСВЯЩЕННОЙ ВСЕМИРНОМУ ДНЮ ЛЕДНИКОВ»  
18 – 20 МАРТА 2023 ГОДА**



**ДУШАНБЕ**

**Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе**

**МАТЕРИАЛЫ**  
**МЕЖДУНАРОДНОЙ**  
**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**  
**«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ**  
**ЭКОЛОГИИ И КЛИМАТА»,**  
**посвященной Всемирному дню ледников»**  
*18 – 20 марта 2023 года*



**Душанбе – 2023**

**УДК 574 + 551.58 (063.3)**

**ББК 28.081 + 26.234.7**

**М - 34**

Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты экологии и климата», посвященной Всемирному дню ледников» (18-21 марта 2023 года), Душанбе. - 2023, - 196 с.

**Под общей редакцией**

д.ю.н. Диноршох А.М.

**Ответственный редактор**

д.т.н. Умарова Т.М.

**Редакционная коллегия:**

Бобоев Ш.А., Одинабеков Д.М., Салихов Ф.С.

**Редакторы:**

Акбарова В.А., Касымова Ф.А., Рахматова Ш.И., Фазилова Ш.К.

В сборнике представлены материалы, включённые в программу Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты экологии и климата», посвященной Всемирному дню ледников».

Данный сборник предназначен для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов, магистрантов и студентов старших курсов высших учебных заведений.

© Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе, 2023

УДК 633.1:632.12(575.3)

## ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВ ГОРНОГО РЕГИОНА ТАДЖИКИСТАНА

Абдуллаев С.Ф., Азизшоев К.

*Физико-технический институт имени С.У. Умарова Национальной  
академии наук Таджикистана (г. Душанбе, РТ)*

*Аннотация.* В статье представлены результаты исследования элементного состава почв горного региона. Для определения элементного анализа проб почв использован рентгенофлуоресцентный анализатор Termo Niton XL\_3t. Из 36 изученных проб почв только в почвах Колуч - кул обнаружен ртуть с содержания в пробах №12-10мг/кг, №16-8, №18-8.32, № 19-8.1, №22-8.36, №28-7.8, № 32-8.65, № 33-8.22, №35-9.76мг/кг при Кларке (0.083мг/кг) если учитывать, что ПДК ртути в почве 2.1мг/кг тогда выясняется, что в почве Колуч-кул содержания ртути превышает ПДК от 3.7 до 4.8раза. Ртуть относится к тяжелому металлу первого класса опасности.

*Ключевые слова:* почва, элементный состав, горный регион, ПДК, Кларк, гигиенические нормативы.

## ELEMENTAL COMPOSITION OF SOILS IN THE MOUNTAIN REGION OF TAJIKISTAN

Abdullaev S.F., Azizshoev K.

*Physical-Technical Institute after S.U. Umarova National  
Academy of Sciences of Tajikistan (Dushanbe, RT)*

*Annotation.* The article presents the results of a study of the elementary composition of soils in a mountainous region. To determine the elementary analysis of soil samples, a Termo Niton XL\_3t X-ray fluorescence analyzer was used. Out of the 36 studied soil samples mercury was found only in Koluchkul soils with the content in samples No. 12-10 mg/kg, No. 16-8, No. 18-8.32, No. 19-8.1, No. 32-8.65, No. 33-8.22, No. 35-9.76mg/kg at Clark (0.083mg/kg) if we take into account that the MPC of mercury in the soil is 2.1mg/kg, then it turns out that in the Koluchkul soil, the mercury content exceeds the MPC from 3.7 to 4.8 times. Mercury belongs to the heavy metal of the first hazard class.

*Keywords:* soil, elemental composition, mountainous region, MPC, Clark, hygienic standards.

Уровни токсичных металлов, связанных с верхним слоем почвы и дорожной пылью, вызывают повышенный исследовательский интерес в последние десятилетия в мире [1,2]. Поскольку микроэлементы и токсичные металлы, такие как свинец, кадмий, никель, медь, цинк и др., при высоких концентрациях становятся токсичными [3], а также не поддаются биоразложению и проходят биохимический цикл с существенно разным временем пребывания в окружающей среде. В предыдущих отчетах утверждается, что значительную роль в этом вопросе играют выбросы от транспортных средств [4-7]. К ним относятся частицы износа шин и тормозов, которые могут оседать и выбрасывать промышленные выбросы в почву и пыль. В дополнение к выбросам из различных источников выплавка металлов также отражает другие наиболее важные источники загрязнения токсичными тяжелыми металлами [6]. В процессе плавки

в атмосферу в больших количествах выбрасываются токсичные тяжелые металлы. Однако уличная пыль могла стать одной из ключевых проблем качества воздуха в атмосферной среде [5,8]. Образцы мелкодисперсной пыли могут осаждаться на стенах школьных зданий, а детские площадки придорожных школ могут содержать металлические загрязнители в виде дисперсных состояний, что может вызвать загрязнение почв. Сухие и влажные отложения вблизи дорог, а также перенос сточными водами являются основными причинами переноса загрязняющих веществ в почвы [9]. Различные исследования доказали, что воздух загрязнение через почву и пыль влияет не только на людей, которые регулярно им подвергаются, но также влияет на климат, сельское хозяйство и природную среду [10,11]. Таким образом, это исследование было разработано для сбора образцов почвы из различных придорожных зон горного региона для анализа с использованием метода XRF. Однако конкретными задачами данного исследования являются следующие особенности: (1) определение концентраций элементов в пробах почвы различных придорожных высокогорных зон, в дальнейшем планируется (2) оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами путем оценки индекса геоаккумуляции (Igeo), (3) выявление возможных источников (антропогенных или природных) различных металлов путем оценки коэффициента обогащения (EF) и коэффициента корреляции, и (4) для оценки риска для здоровья (канцерогенного или неканцерогенного) тяжелых металлов.

В табл.1 представлен характеристика места сбора проб почв горного региона. Для определения элементного анализа проб почв использован рентгенофлуоресцентный анализатор Termo Niton XL\_3t.

Из 36 изученных проб почв только в почвах Колуч - кул обнаружен ртуть с содержания в пробах №12-10мг/кг, №16-8, №18-8,32, № 19-8.1, №22-8.36, №28-7.8, № 32-8.65, № 33-8.22, №35-9.76мг/кг при Кларке (0.083мг/кг) если учитывать, что ПДК ртути в почве 2,1мг/кг тогда выясняется, что в почве Колуч-кул содержания ртути превышает ПДК от 3,7 до 4,76раза. Ртуть относится к тяжелому металлу первого класса опасности.

Тяжелые металлы второй класс опасности хром и молибден обнаружены в почвах: например, хрома в пробах №11-95 мг/кг, №24-83, №29-144,95, №31-22,13, №32-80, №33-104, №34-50, №35-85, и № 36-80мг/кг при Кларк (83мг/кг) и ПДК(6мг/кг) [12].

Содержания хрома в этих районах превышает ПДК от 3.7 до 24 раза. Содержания молибдена в пробах №4-10, №9-12, №15-5мг/кг при Кларке (1,1мг/кг). Обнаружено кобальта в пробах №5-118, №11-215, №13-200, №15-374, №16-181, №32-165, №35-264мг/кг при Кларке в почве (18мг/кг) и ПДК-5мг/кг [12].

Таблица 1.

## Характеристика места сбора проб почв горного региона

номера проб почв	Дата	Местность	Широта (с.ш)	Долгота (в.д)	Высота (м над ур.м.)
1	15.08.2022	Колуч-кул	37°40'39"	73°38'04"	4375
2	12.08.2022	Колуч-кул	37°38'51"	73°39'19"	4342
3	20.08.2022	р.Пянч	38°20'83"	70°36'60"	1382
4	19.08.2022	р.Пянч (Шпад)	38°06'57"	71°19'73"	1672
5	19.08.2022	р.Пянч (Рушан)	37°53'50"	71°35'44"	2020
6	12.08.2022	Колуч-кул	37°39'24"	73°39'17"	4308
7	12.08.2022	Колуч-кул	37°37'89"	73°39'25"	4335
8	07.08.2022	Ак-Архар	37°57'34"	73°42'73"	4654
9	07.08.2022	Ак-Архар	37°57'71"	73°42'85"	4456
10	19.08.2022	р.Пянч (Ёгед)	37°37'88"	71°31'62"	2050
11	07.08.2022	Ак-Архар	37°57'34"	73°43'01"	4575
12	15.08.2022	Колуч-кул	37°40'82"	73°38'08"	4444
13	15.08.2022	Колуч-кул	37°40'83"	73°38'09"	4416
14	07.08.2022	Ак-Архар	37°57'76"	73°43'03"	4428
15	07.08.2022	Ак-Архар	37°57'62"	73°42'70"	4575
16	11.08.2022	Колуч-кул	37°39'84"	73°40'46"	4428
17	15.08.2022	Колуч-кул	37°39'86"	73°38'70"	4300
18	08.08.2022	Колуч-кул	37°57'79"	73°44'10"	4281
19	09.08.2022	Ак-Архар	37°56'61"	73°43'69"	4462
20	08.08.2022	Колуч-кул	37°57'49"	73°43'35"	4352
21	09.08.2022	Ак-Архар	37°57'12"	73°43'14"	4425
22	14.08.2022	Колуч-кул	37°41'64"	73°39'30"	4520
23	14.08.2022	Колуч-кул	37°41'35"	73°39'76"	4482
24	14.08.2022	Колуч-кул	37°41'07"	73°39'82"	4376
25	14.08.2022	Колуч-кул	37°40'90"	73°39'92"	4269
26	14.08.2022	Колуч-кул	37°41'71"	73°38'88"	4605
27	11.08.2022	Колуч-кул	37°39'66"	73°40'45"	4491
28	11.08.2022	Колуч-кул	37°39'84"	73°40'46"	4428
29	11.08.2022	Колуч-кул	37°39'30"	73°39'63"	4549
30	11.08.2022	Колуч-кул	37°39'59"	73°39'85"	4530
31	20.08.2022	Язгулям	38°11'29"	71°25'55"	1670
32	11.08.2022	Колуч-кул	37°39'66"	73°40'15"	4490
33	11.08.2022	Колуч-кул	37°39'30"	73°39'63"	4549
34	09.08.2022	Ак-Архар	37°57'12"	73°43'14"	4425
35	09.08.2022	Ак-Архар	37°56'73"	73°43'43"	4643
36	11.08.2022	Колуч-кул	37°39'63"	73°39'39"	4362

Содержания ванадия в пробах №11-158, №24-184, №31-58, №32-151, №33-169мг/кг,) превышает Кларк (К=90мг/кг) и ПДК-100мг/кг, а для проб №34-90, №35-59мг/кг они ниже [12].

В почве горного региона обнаружено S с содержанием в пробах № 11-1230мг/кг, № 24-1052, № 31-879, №32-486, № 34-404.6 мг/кг значение Кларка для S составляет 470мг/кг и ПДК в почве -160мг/кг. В почве Ак-Архара содержания серы превышает ПДК 7.68 раза, 6.6 раза в Колуч-куле, 5.5 раза в Язгуляме, 2.5 раза в Ак-Архаре [12]. Из 36 проб почв только в четырех пробах обнаружено Sc. Установлено, что значения Sc превышает его кларка для проб №32 - 5.9раза, №33-5.6, №34-9.0 и № 35-5.9 раза. Эти точки Колуч-кул и Ак-Архар. Кларк Sc в почве составляет 10мг/кг [12]. Обнаружено Au в пробе почв Колуч-кул превышения над Кларком (0,0083) в 723 раза [12]. Обнаружен Ва только в почвах Ак-Архара 389.35мг/кг, что ниже его кларка в почве (650мг/кг) [12]. У всех 36 проб почв обнаружены элементы: К, Са, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Zr, Pb и Th. Статистические параметры представлены в табл.1 и 1а.

**Таблица 2.**

**Статистические характеристики содержания элементов  
в почве горного региона**

Параметр	К	Са	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu
Кларк	25000	29600	4500	1000	46500	58	47
ПДК			500	150	38000	85	55
<С>	28990	30019	5240	935	37806	89	49
C <sub>max</sub>	39195	196038	9282	1761	74771	136	75
C <sub>min</sub>	12585	5312	3019	486	16563	51	22
N	34	34	34	36	36	36	36
σ	8809	33580	1852	311	10975	16	11,4
δ	518	1975	109	17	610	0,91	0,63
V	0,30	1,12	0,35	0,33	0,29	0,18	0,23
S <sub>n</sub>	0,02	0,07	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01

**Таблица 2а.**

**Статистические характеристики содержания элементов  
в почве горного региона**

Параметр	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Th
Кларк	83	1,7	0,001	340	170	16	18
ПДК	100	2	-	300	-	20	-
<С>	104	34	145	153	273	30	14

$C_{\max}$	195	127	200	246	823	57	23
$C_{\min}$	26	6	48	82	163	7	7
N	36	36	36	36	36	36	36
$\sigma$	34,44	60,06	0,05	43,36	122,65	10,39	3,32
$\delta$	1,91	3,34	0,00	2,41	6,81	0,58	0,18
V	0,33	1,79	0,00	0,28	0,45	0,34	0,25
Sn	0,02	0,10	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01

### Литература

1. Rahman M.S., M.B. Hossain, S.M.O.F. Babu, M. Rahman, A.S.S. Ahmed, Y.N. Jolly, T.R. Choudhury, B.A. Begum, J. Kabir, S. Akter, Source of metal contamination in sediment, their ecological risk, and phytoremediation ability of the studied mangrove plants in ship breaking area, Bangladesh, *Mar. Pollut. Bull.* 141 (2019) 137–146.
2. Saha N., M.S. Rahman, M.B. Ahmed, J.L. Zhou, Industrial metal pollution in water and probabilistic assessment of human health risk, *J. Environ. Manag.* 185 (2017) 70–78.
3. M. Wiczorek-Dąbrowska, A. Tomza-Marciniak, B. Pilarczyk, A. Balicka-Ramisiz, Roe and red deer as bioindicators of heavy metals contamination in North-Western Poland, *Chem. Ecol.* 29 (2) (2013) 100–110.
4. Banu Z., M.S.A. Chowdhury, M.D. Hossain, K. Nakagami, Contamination and Ecological Risk Assessment of Heavy Metal in the Sediment of Turag River, Bangladesh: An Index Analysis Approach. *Earth & Environmental Sciences*, 5, BBS (1995). Bangladesh Bureau of Statistics. Statistical Yearbook of Bangladesh Statistics Division, Ministry of Planning, Dhaka, 2013 239–248.
5. M.D.H. Khan, A. Talukder, M.S. Rahman, Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in urban road dusts from Dhaka city, Bangladesh, *IOSR J. Appl. Chem.* 11 (1) (2018) 90–99.
6. J.O. Nriagu, J.M. Pacyna, Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals, *Nature* 333 (6169) (1988) 134–139.
7. R. Urrutia-Goyes, N. Hernandez, O. Carrillo-Gamboa, K.D.P. Nigam, N. Ornelas-Soto, Street dust from a heavily-populated and industrialized city: evaluation of spatial distribution, origins, pollution, ecological risks and human health repercussions, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 159 (2018) 198–204.
8. J.O. Nriagu, J.M. Pacyna, Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals, *Nature* 333 (6169) (1988) 134–139.
9. Z. Banu, M.S.A. Chowdhury, M.D. Hossain, K. Nakagami, Contamination and Ecological Risk Assessment of Heavy Metal in the Sediment of Turag River, Bangladesh: An Index Analysis Approach. *Earth & Environmental Sciences*, 5, BBS (1995). Bangladesh Bureau of Statistics. Statistical Yearbook of Bangladesh Statistics Division, Ministry of Planning, Dhaka, 2013 239–248.
10. M.D.H. Khan, A. Talukder, M.S. Rahman, Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in urban road dusts from Dhaka city, Bangladesh, *IOSR J. Appl. Chem.* 11 (1) (2018) 90–99.
11. Pagotto C., Rémy N., M. Legret, P. Le Cloirec, Heavy metal pollution of road dust and roadside soil near a major rural highway, *Environ. Technol.* 22 (2001) 307–319.
12. Гигиенические нормативы "Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве" (далее - нормативы) разработаны в соответствии с Федеральным законом от 30.03.1999 N52-ФЗ "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" Собрание законодательства Российской Федерации, 2005, N 39, ст. 3953

## ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИСТОЧНИКИ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРЕ

Абдуллаев С.Ф.<sup>1</sup>, Нозиров Д.Ф.<sup>1</sup>, Алиназаров Б.Т.<sup>2</sup>, Гулов М.Г.<sup>2</sup>

*Физико-технический институт имени С.У. Умарова*

*Национальной академии наук Таджикистана<sup>1</sup>(г. Душанбе, РТ)*

*Филиал Московского государственного университета*

*имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе<sup>2</sup> (г. Душанбе, РТ)*

*sabur.f.abdullaev@gmail.com*

*Аннотация.* В настоящей статье проанализированы физические характеристики и источники твердых частиц в атмосфере. Изложен идеализированный пример распределения частиц по размерам в окружающей среде. Исследования химического состава показывают, что в размерной фракции PM<sub>2.5</sub> преобладают сульфаты, нитраты, аммоний, органический углерод и элементарный углерод, а небольшие доли (<10%) составляют неорганизованная пыль, за исключением эпизодов с пылью в Азии.

*Ключевые слова:* твердые частицы, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, TSP, ультратонкие частицы, наночастицы, аэродинамический диаметр, источники, тяжелые металлы, ОС, ЕС, пары.

## PHYSICAL CHARACTERISTICS AND SOURCES OF PARTICLES IN THE ATMOSPHERE

Abdullaev S.F.<sup>1</sup>, Nozirov D.F.<sup>1</sup>, Alinazarov B.T.<sup>2</sup>, Gulov M.G.<sup>2</sup>

*Umarov Physical-Technical Institute*

*of National Academy of Sciences of Tajikistan<sup>1</sup>(Dushanbe, RT)*

*Lomonosov Moscow State University in Dushanbe<sup>2</sup>(Dushanbe, RT)*

*Annotation.* This article analyzes the physical characteristics and sources of particulate matter in the atmosphere. An idealized example of particle size distribution in the environment is presented. Chemical composition studies show that the PM<sub>2.5</sub> size fraction is dominated by sulfates, nitrates, ammonium, organic carbon and elementary carbon, with small fractions (<10%) of fugitive dust, except for dust episodes in Asia.

*Keywords:* solid particles, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, TSP, ultrafine particles, nanoparticles, aerodynamic diameter, sources, heavy metals, ОС, ЕС, vapours.

Твёрдые частицы (PM-Particle Matter) — это термин, которым обозначают крошечные частицы твердого или полутвердого материала, обнаруженные в атмосфере. Твердые частицы в атмосфере варьируются в размерах на многие порядки. Выражение «размер частиц» основано на поведении частиц в гравитационном поле Земли. Аэродинамический эквивалентный диаметр относится к сферической частице единичной плотности (1г/см<sup>3</sup>), которая падает со стандартной скоростью. Размер, поскольку он определяет продолжительность жизни в атмосфере и осаждение в легких, является очень важной характеристикой твердых частиц. Частицы размером от <0,1 до 50 мкм называются общими взвешенными частицами (TSP - Total Sum Particle). Твердые частицы размером более 50 мкм, как правило, оседают в воздухе, в то время как

твердые частицы диаметром 10 мкм и меньше считаются вдыхаемыми. Эти твердые частицы обычно называют PM10.

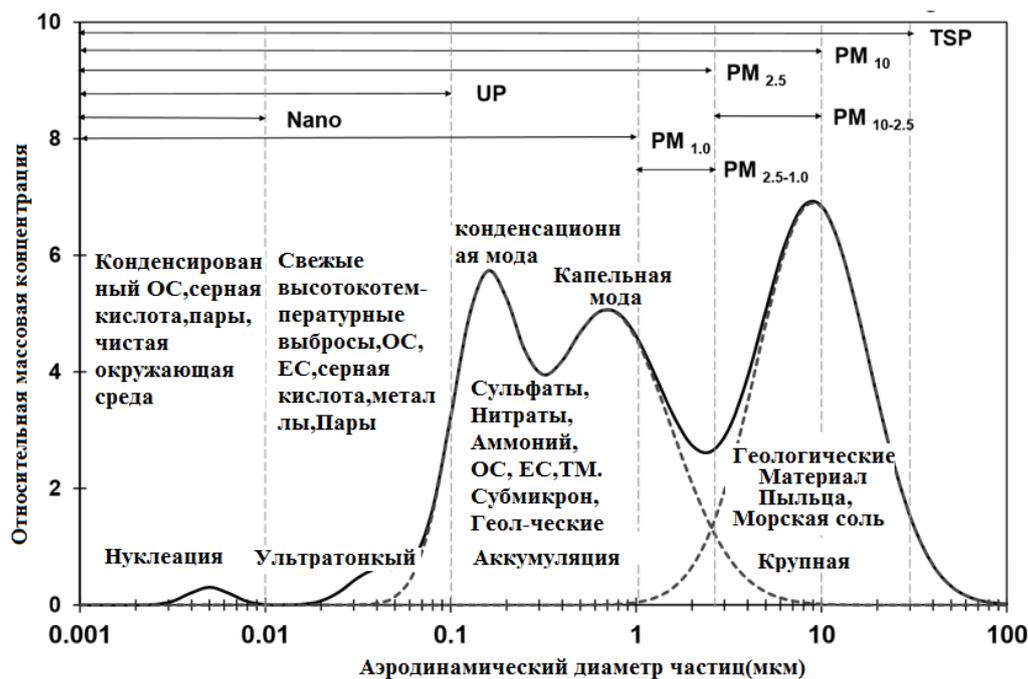
Термины «мелкий» и «крупный» первоначально предназначались для применения к двум основным распределениям атмосферных частиц, которые перекрываются в диапазоне размеров от 1 до 3 мкм в диаметре. В настоящее время мелкие частицы обозначаются как PM2.5 (частицы диаметром <2.5 мкм), а крупные — как PM10 (частицы диаметром <10 мкм).

На сегодняшний день диаметр большинства искусственных частиц составляет от 0.1 до 10 мкм. Частицы размером более 10 мкм обычно образуются из-за песка и грязи, переносимых ветрами из различных мест, и обычно содержат большое количество кремнезема. Химическая сложность переносимых по воздуху частиц требует рассмотрения состава и источников большого количества первичных и вторичных компонентов [1]. Первичные твердые частицы выбрасываются непосредственно в атмосферу из различных источников. Вторичные частицы образуются в атмосфере в результате химических процессов. Основными компонентами частиц PM2.5 являются сульфаты, сильные кислоты, аммоний, нитраты, органические соединения, микроэлементы, элементарный углерод и вода. Диоксид серы, оксиды азота и некоторые органические соединения являются основными предшественниками мелкодисперсных вторичных твердых частиц. Оксид азота реагирует с озоном с образованием диоксида азота. Диоксид серы и диоксид азота реагируют с гидроксильным радикалом с образованием серной и азотной кислот соответственно. Диоксид азота также реагирует с озоном с образованием азотной кислоты посредством последовательности реакций с участием нитратного радикала.

Эти кислоты могут реагировать с аммиаком с образованием сульфатов и нитратов аммония. Некоторые типы органических соединений с более высокой молекулярной массой реагируют с гидроксильными радикалами с образованием кислородсодержащих органических соединений, которые могут конденсироваться на существующих частицах. Диоксид серы, растворенный в облаках и капельках тумана, может вступать в реакцию с озоном, водородом и кислородом с образованием серной кислоты или сульфатов, что приводит к образованию твердых частиц при испарении воды. Образование вторичных твердых частиц зависит от реакций между видами, которые обычно присутствуют в атмосфере, но возникают в более высоких концентрациях во время смога. Поскольку образование смога увеличивается с температурой и солнечным светом, пик вторичных твердых частиц приходится на летние месяцы в большинстве районов США. К естественным источникам мелких твердых частиц относятся переносимая ветром пыль, морская соль, частицы,

образующиеся в результате окисления соединений серы, выбрасываемых из океанов и водно-болотных угодий, окисления оксидов азота в результате природных лесных пожаров и молний, а также окисления углеводородов, таких как терпены, выбрасываемых растительностью.

Основная форма распределения частиц по размерам в атмосфере была разъяснена в [2] с использованием разработанного оборудования [3]. Эти исследователи первоначально пришли к выводу, что типичные распределения частиц по размерам можно объяснить двумя логарифмически нормальными кривыми, наложенными друг на друга, с минимумом в области от 1 до 3 мкм. Рис. 1 иллюстрирует текущее понимание распределения частиц по размерам в окружающей среде с несколькими модами, развивая исходное бимодальное распределение Уитби. PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub> ( $d_p < 10$  мкм), как указано стрелками в верхней части рис. 1, являются регулируемыми фракциями размера в США и многих других странах.



**Рисунок 1.** Идеализированный пример распределения частиц по размерам в окружающей среде по образцу [4, 5]. TSP Total Sum Particle, измеренный пробоотборником большого объема (High Volume) в диапазоне размеров частиц от 0 до ~30–50 мкм. Зародышевый и сверхтонкий режимы обозначают частицы размером менее 0.01 и 0.1 мкм соответственно. Режим накопления (аккумуляция) содержит большую часть мелких частиц от ~0.1 до ~2 мкм. Режим конденсации (конденсационная мода) ~ 0.2 мкм возникает в результате газофазных продуктов реакции, а режим капель (капельная мода) ~ 0.7 мкм возникает в результате поглощения газа и реакций в каплях воды. Грубая (крупная) мода простирается от ~ 2 или 3 мкм до 100 мкм. UP - ультраотонкие частицы. Nano - наночастицы.

PM10 включает PM2.5, а «грубая» фракция определяется как разница между двумя измерениями массы (PM10–PM2.5). Фракция PM2.5 часто называлась «тонкой» фракцией, но позже ей было присвоено обозначение PM2.5, чтобы указать верхний предел размера 2.5 мкм. Относительные величины зародышеобразования и сверхтонких мод преувеличены на рис. 1, поскольку сверхмелкие частицы (UP;  $d < 0,1$  мкм или 100 нм) преобладают в подсчете количества частиц, но составляют небольшую (< 5%) долю массы PM2.5.

Используя ударные элементы низкого давления для получения лучшего химического разрешения в пределах распределения по размерам [6-7] заметили смещения максимумов режима накопления (~0.1–2 мкм) при различных метеорологических условиях. Они идентифицировали более крупную капельную моду с пиком около 0,7 мкм, образованную в результате роста ядер частиц и реакций водной фазы в туманах и облаках [8].

Сульфат, в частности, образуется из газообразного диоксида серы в каплях воды, что приводит к образованию более крупных частиц при испарении капли. В условиях сухой атмосферы газозная конверсия диоксида серы и оксидов азота создает более мелкие частицы в режиме конденсации с пиком ~0.2 мкм. Другая интерпретация этих мод при относительной влажности  $f > 80\%$  состоит в том, что водопоглощающие сульфатные и нитратные соединения перерастают в капельную моду, а водоотталкивающая сажа и часть органического углерода сохраняют свои первоначальные размеры [9].

Ограниченные исследования химического состава в Китае [9-15], показывают, что в размерной фракции PM2.5 преобладают сульфаты, нитраты, аммоний, органический углерод и элементарный углерод, а небольшие доли (<10%) составляют неорганизованная пыль, за исключением эпизодов с пылью в Азии [16].

Во фракции PM10–2.5 преобладает геологический материал, обычно в виде летучей пыли. PM10–2.5 также содержат морскую соль (вблизи прибрежных районов), биоаэрозоли (например, пыльцу, споры и части растений) и неконтролируемые промышленные выбросы. Новые отрасли промышленности в Китае оснащены устройствами контроля загрязнения (например, рукавными фильтрами и осадителями [17], которые более эффективно удаляют PM10–2,5 и более крупные частицы, чем более мелкие аккумулялирующие частицы. В нижней части спектра размеров на рис. 1 PM выбрасываются непосредственно источниками горения и образуются из конденсированных газов в виде вторичных аэрозолей [18]. Уголь и биомасса являются наиболее часто используемыми видами твердого топлива для сжигания. Сгоревшие жидкие топлива от нефтепереработки включают мазут, дизельное топливо, керосин, самолеты и бензин. Самым чистым горючим топливом являются такие газы, как

метан, пропан и бутан. Ископаемые виды топлива, особенно уголь, содержат следовые количества серы, которые могут окисляться до серной кислоты. Поскольку органические газы и серная кислота охлаждаются при разбавлении окружающим воздухом, они могут конденсироваться в более крупные частицы или превращаться в УР. Черная сажа образуется при неполном сгорании в условиях кислородного голодания. Некоторые из них могут быть УР, но они часто растут за счет конденсации и адсорбции паров или коагуляции с другими УР. УР также производятся в чистых удаленных средах. Летучие органические соединения, выделяемые в газовой фазе естественными (например, растениями и лесными пожарами) и антропогенными (например, сжиганием ископаемого топлива и биотоплива) источниками, превращаются в полулетучие органические соединения с более низким давлением паров в присутствии солнечного света. Эти газы могут образовываться, когда давление их пара превышает давление насыщенного пара при данной температуре. Это зародышеобразование обычно происходит при низких массовых концентрациях РМ, поскольку пары предпочтительно конденсируются на более крупных частицах, когда они доступны в достаточном количестве.

УР и РМ<sub>10–2.5</sub> имеют относительно короткое время жизни от минут до нескольких часов после выброса или образования. УР быстро диффундирует к поверхностям или растет в режиме накопления [19]. Крупные частицы, в том числе частицы размером > 10 мкм, оседают на поверхности под действием силы тяжести [20]. РМ<sub>2.5</sub> в режиме накопления следуют за восходящими потоками и могут оставаться во взвешенном состоянии в течение нескольких дней, вплоть до недели.

В результате масса РМ<sub>2.5</sub> имеет тенденцию к более однородному распределению по мере удаления от источника выбросов и по мере образования вторичных сульфатов и нитратов в региональном масштабе.

### Литература

1. U.S. EPA National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter: Final Rule. 40 CFR Parts 50, 51, 52, 53, and 58 / *Fed. Regist.* - 2013. – v.78. - pp. 3086–3286.
2. Whitby, K.T. The Aerosol Size Distribution of Los Angeles Smog / K.T. Whitby, R.B. Husar, B.Y.H. Liu // *J. Colloid Interface Sci.* -1972 – v.39. - pp.177–204.
3. Liu, B.Y.H. A Portable Electrical Analyzer for Size Distribution Measurement of Submicron Aerosols / B.Y.H. Liu, K.T. Whitby and D.Y.H. Pui // *J. Air Pollut. Contr. Assoc.* – 1974. – v.24. – pp.1067–1072.
4. Chow, J.C. (). Critical Review: Measurement Methods to Determine Compliance with Ambient Air Quality Standards for Suspended Particles / Chow, J.C. // *J. Air Waste Manage. Assoc.* - 1995. - 45. - pp.320–382.
5. Watson, J.G. Particle Size Relationships at the Fresno Supersite / J.G. Watson, J.C. Chow, D.H. Lowenthal, M.R. Stolzenburg, N.M. Kreisberg and S.V. Hering // *J. Air Waste Manage. Assoc.* – 2002. – v.52. – pp. 822–827.

6. Hering, S.V. Origins of Aerosol Sulfur Size Distributions in the Los Angeles Basin. / S.V. Hering and S.K. Friedlander // *Atmos. Environ.* -1982. - v.16. - pp.2647–2656.
7. John, W. Modes in the Size Distributions of Atmospheric Inorganic Aerosol / W. John, S.M. Wall, J.L. Ondo and W. Winklmayr, // *Atmos. Environ.* 1990. -v.24A. - pp/ 2349-2359.
8. Penkett, S.A. The Importance of Atmospheric Ozone and Hydrogen Peroxide in Oxidizing Sulfur Dioxide in Cloud and Rainwater / S.A. Penkett, B.M.R. Jones, K.A. Brice and A.E.J. Eggleton // *Atmos. Environ.* - 1979. – v.13. - 123–137.
9. Cao, J.J. Winter and Summer PM<sub>2.5</sub> Chemical Compositions in 14 Chinese cities. / J.J. Cao, Z.X. Shen, J.C. Chow, et al// *J. Air Waste Manage. Assoc.* 2012a. – v.62. – pp.1214–1226, doi: 10.1080/10962247.2012.701193.
10. Cao, J.J. Fine Particulate Matter Constituents and Cardiopulmonary Mortality in a Heavily Polluted Chinese City. *Environ* / J.J. Cao, H.M. Xu, Q. Xu, B.H. Chen and H.D. Kan // *Health Perspect.* - 2012b. - v.120. – pp.373–378.
11. Huang, W. Seasonal Variation of Chemical Species Associated with Short-term Mortality Effects of PM<sub>2.5</sub> in Xi'an, a Central City in China. / W. Huang, J.J. Cao, Y.B. Tao et al // *Am. J. Epidemiol.* 2012.- v.175. - pp.556–566.
12. Li, P.H. Characterization, Meteorological Influences, and Source Identification of Carbonaceous Aerosols during the Autumn-winter Period in Tianjin, China. / P.H. Li, B. Han, J. Huo et al // *Aerosol Air Qual. Res.* – 2012. – v.12. – pp. 283–294.
13. Wang, Z.S. Potential Source Analysis for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Autumn in a Northern City in China / Z.S. Wang, T. Wu, G.L. Shi et al // *Aerosol Air Qual. Res.* - 2012. - v.12. - pp. 39–48.
14. Xu, L.L. Seasonal Variations and Chemical Compositions of PM<sub>2.5</sub> Aerosol in the Urban Area of Fuzhou, China / L.L. Xu, X.Q. Chen, J.S. Chen // *Atmos. Res.* - 2012. - v.104. - pp. 264–272.
15. Zhang, Q. Cleaning China's Air / Q. Zhang, K. He and H. Huo // *Nature.* -2012. – v.484. – pp.161–162.
16. Zhao, Q. Dust Storms Come to Central and Southwestern China, Too: Implications from a Major Dust Event in Chongqing / Q. Zhao, K.B. He, K.A. Rahn // *Atmos. Chem. Phys.* -2010. - v.10. - pp. 2615–2630.
17. Hu, H. Air Pollution and Control in Different Areas of China / H. Hu, Q. Yang, X. Lu // *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 2010. – v.40. - pp. 512–518.
18. Watson, J.G. Particle Size Relationships at the Fresno Supersite / J.G. Watson, J.C. Chow, D.H. Lowenthal // *J. Air Waste Manage. Assoc.* - 2002. – v.52. – pp. 822–827.
19. McMurry, P.H. A Review of Atmospheric Aerosol Measurements / P.H. McMurry // *Atmos. Environ.* - 2000 – 34. – pp. 1959–1999.
20. Hinds, W.C. Physical and Chemical Changes in the Particulate Phase/ W.C. Hinds // In *Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications, Second Edition*, 2<sup>nd</sup> ed., Baron, P. and Willeke, K. (Eds.), John Wiley & Sons, New York, -2001. - p. 83–97.

## МЕХАНИЗМ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ СХОДА СЕЙСМОИНДУЦИРОВАННОЙ ЛЕДОВО-КАМЕННОЙ ЛАВИНЫ В ХРЕБТЕ ЦАМБАГАРАВ, МОНГОЛЬСКИЙ АЛТАЙ

Агатова А.Р.<sup>1</sup>, Непоп Р.К.<sup>1</sup>, Ганюшкин Д.А.<sup>2</sup>

*Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН<sup>1</sup>  
(г. Новосибирск, РФ)*

*Санкт-Петербургский государственный университет<sup>2</sup>  
(г. Санкт-Петербург, РФ)*

*agat@igm.nsc.ru*

**Аннотация.** Ледово-каменные лавины в районах внутриконтинентального горно-долинного оледенения с резко континентальным аридным климатом могут быть более частым явлением, чем кажется на первый взгляд. В Монгольском Алтае, характеризующемся высокой сейсмической активностью, одним из триггеров лавин являются землетрясения. В августе 1988 г. в бассейне р. Зуслан (хребет Цамбагарав) через 17 дней после Цамбагаравского землетрясения ( $M = 6.4$ ) сход фрагмента одного из ледников инициировал ледово-каменную лавину «на воздушной подушке». Ее отложения мощностью до 30 м перекрыли долину на протяжении 5 км. Маршрутные наблюдения, проведенные нами в долине р. Зуслан через 16 и 31 год после события (в 2004 и 2019 гг.), позволили установить продолжительность деградации льда в лавине и описать геоморфологические последствия ее схода; анализ разновременных космоснимков и расчеты толщины ледника и отколовшегося от него блока дали возможность уточнить механизм инициации лавины. За счет потери льда в языковой и аккумулятивной частях пострадавший ледник после землетрясения сокращается значительно быстрее, чем его соседи.

**Ключевые слова:** Монгольский Алтай, горно-долинное оледенение, ледово-каменные лавины, сейсмогенный триггер, геоморфологические эффекты.

## THE MECHANISM AND GEOMORPHOLOGICAL EFFECTS OF A SEISMIC-INDUCED ICE-ROCK AVALANCHE IN THE TSAMBAGARAV RIDGE, MONGOLIAN ALTAI

Agatova A.R.<sup>1</sup>, Nepop R.K.<sup>1</sup>, Ganyushkin D.A.<sup>2</sup>

*Institute of Geology and Mineralogy named after V.S. Sobolev SB RAS<sup>1</sup>  
(Novosibirsk, RF)*

*Saint Petersburg State University<sup>2</sup>, (St. Petersburg, RF)*

**Annotation.** Ice-rock avalanches in areas of intracontinental alpine glaciation affected by arid climate may be a more frequent occurrence than it seems. In the Mongolian Altai, which is characterized by high seismicity, earthquakes are among the triggers of such events. In August 1988, 17 days after the Tsambagarav earthquake ( $M=6.4$ ), the collapsed fragment of one of the glaciers initiated an ice-rock avalanche “on an air cushion” in the Zuslan river basin (Tsambagarav Ridge). Avalanche deposits up to 30 m thick blocked the valley for 5 km. Field observations in the Zuslan river valley were carried out 16 and 31 years after the event (in 2004 and 2019). They allowed to establish the duration of ice degradation in the avalanche deposits and to describe geomorphological effects. Analysis of different time satellite images, as well as calculations of the ice thickness in the glacier and in the collapsed ice block made it possible to clarify the mechanism of avalanche initiation. Due to the loss of ice both in the glacier tongue and in the area of accumulation, after the earthquake the affected glacier was shrinking much faster than neighboring glaciers.

**Keywords:** *Mongolian Altai, mountain-valley glaciation, ice-rock avalanches, seismogenic trigger, geomorphological effects.*

## **Введение**

Современное отступление ледников и связанная с этим интенсивная трансформация ландшафтов в горных регионах Земли вызваны наблюдаемым глобальным повышением температуры. В то же время на скорость деградации ледников могут влиять и процессы, не всегда связанные с климатом напрямую. Катастрофические сходы ледников и ледово-каменных лавин в нивально-гляциальном поясе гор приводят к практически одномоментному выносу на более низкие гипсометрические уровни больших объемов льда, снега, обломков горных пород.

Хребет Цамбагарав, второй по значимости центр оледенения Монгольского Алтая [1-3], расположен в северо-западной части Монголии в условиях отрицательных среднегодовых температур ( $-5.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и низкого среднегодового количества осадков (78-87 мм/год), зафиксированных ближайшими гидрометеостанциями в предгорьях. В этих аридных условиях основными ороклиматическими факторами оледенения хребта являются возрастание количества осадков с высотой, положение главного водораздела выше снеговой линии, преобладание уплощенных вершин, высокая роль экспозиции и метелевого переноса. В тектоническом плане Цамбагарав представляет собой передовой хребет – крупный самостоятельный тектонический блок, отделённый от основной горной системы активным региональным Кобдинским разломом. Активизация этого глубинного разлома 23 июля 1988 г. вызвала крупное Цамбагаравское землетрясение ( $M=6.4$ ), сопровождавшееся серией афтершоков. По данным оперативных наблюдений [4], максимальные сейсмические эффекты были установлены в хребте Цамбагарав. Наиболее заметным из сейсмогравитационных явлений стала ледово-каменная лавина, сошедшая на южном склоне хребта по долине р. Зуслан 9 августа 1988 г. – через 17 дней после главного толчка. Согласно [4], отколовшийся от языка одного из ледников блок льда объемом около 6 млн  $\text{м}^3$  потерял устойчивость и обрушился в долину р. Зуслан. Вызванная этим падением лавина прошла путь длиной около 5 км, ударяясь и перескакивая с одного склона долины на другой. Ее отложения перекрыли дно долины на высоту до 30 м.

Оперативность и детальность документации последствий Цамбагаравского землетрясения, проведенной советскими и монгольскими специалистами в 1988 г., предоставили прекрасную возможность оценить влияние сейсмического процесса на сокращение горного оледенения и рельеф троговых долин в аридном районе Центральной Азии [5, 6]. Такая оценка для Алтайского поднятия

проведена впервые, что в условиях его высокой сейсмической активности определило актуальность исследований. Кроме того, очевидный практический интерес представлял анализ дополнительных факторов, обусловивших аномальную протяженность пути ледово-каменной лавины, вынесенной из нивально-гляциального пояса к подножию хребта Цамбагарав, где обычно концентрируются поселения скотоводов-кочевников. Анализ преобразований отложений лавины и выраженности их в рельефе стал еще одной из задач наших исследований.

### **Методика исследований**

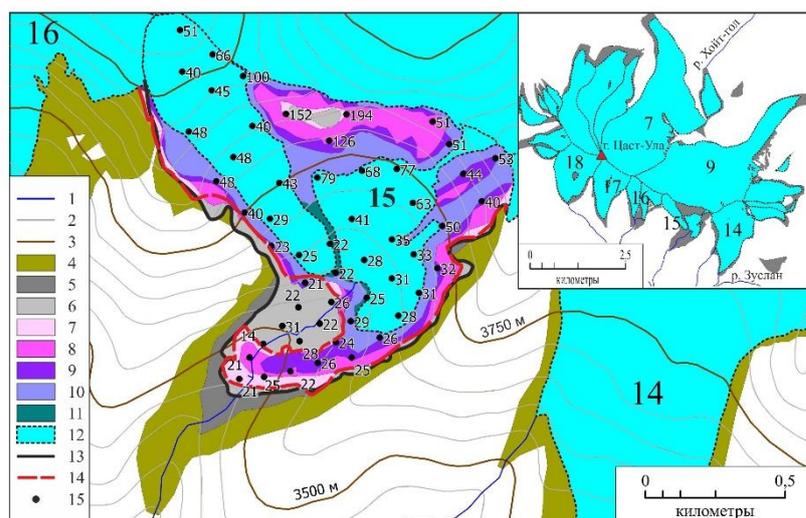
Для решения поставленных задач был использован комплекс методов, включавший дистанционное зондирование и полевые исследования. Скорости сокращения пострадавшего в результате землетрясения ледника и соседних ледников сравнивали путем дешифрирования космических снимков за 1968, 1988, 1989, 1996, 2002, 2006, 2015, 2019 гг. Дешифрирование проводили в Mapinfo и ArcGIS.

Для реконструкции механизма отрыва ледяного блока в теле ледника была проведена оценка объема этого блока различными способами для последующего сравнения с объемом ледовой составляющей отложений лавины. Для определения толщины ледника в отдельных точках была задействована модель GlabTop (Glacier bed Topography) [7].

Полевые исследования долины р. Зуслан проводили дважды, в июне 2004 и августе 2019 г. – через 16 лет и 31 год после Цамбагаравского землетрясения 1988 г. В ходе маршрутов вели фотофиксацию и определяли координаты новообразованных форм рельефа с помощью GPS-приемника. Границы лавинных отложений устанавливали непосредственно на местности и на основе дешифрирования космоснимков. Для подтверждения эрозионного воздействия лавины провели <sup>14</sup>C датирование, спорово-пыльцевой анализ и комплексный групповой биологический анализ образцов торфянистой почвы, вскрытой шурфом под лавинными отложениями в 2019 г.

### **Результаты и выводы**

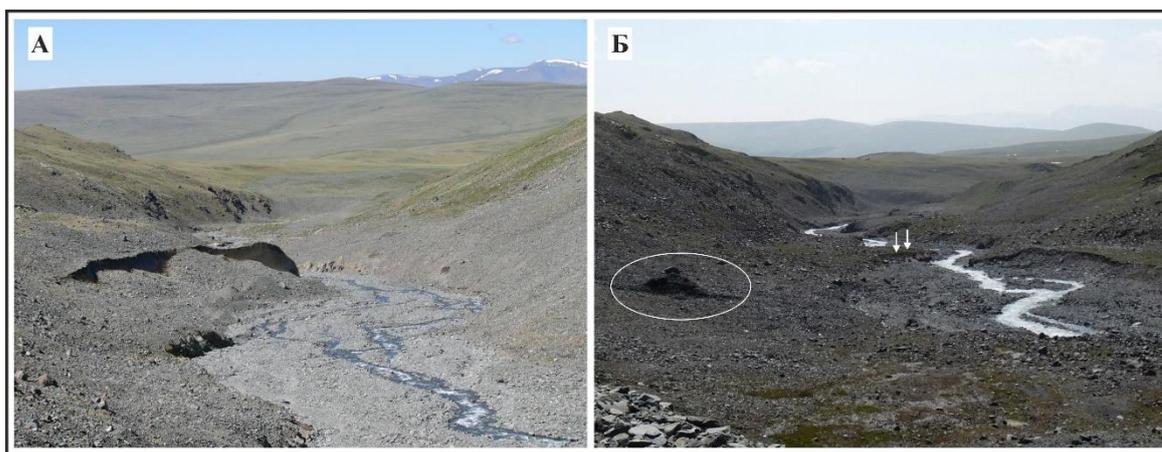
Наши исследования показали, что ледник № 15, одномоментно потерявший в 1988 г. в результате землетрясения значительный объем льда и 10% своей площади, деградировал значительно быстрее остальных схожих по размерам ледников на склоне той же экспозиции. С 1988 по 2015 гг. его площадь уменьшилась на 56%, единственный из висячих ледников он стал каровым, а в 2019 г. уже разделился на две составляющие (рис. 1).



**Рисунок 1.** Сокращение ледника № 15 после Цамбагаравского землетрясения (по [5, 6]). 1- реки; 2, 3 – изогипсы; 4 - ледник в максимум МЛП; 5-11 - участки сокращения площади ледника: 5 – с 11.08.1968 по 22.06.1988 г., 6 – к 03.08.1989 г., 7 – к 14.07.1996 г., 8 – к 14.07.2002 г., 9 – к 26.07.2006 г., 10 – к 15.08.2015 г., 11 – к 02.08.2019 г.; 12 - ледник в 02.08.2019 г.; 13 - граница ледника (22.06.1988 г.) до и 14 - после Цамбагаравского землетрясения (03.08.1989 г.); 15 - значения толщин ледника (м) по модели GlabTop. На врезке – сокращение ледникового комплекса г. Цаст-Ула с 1968 г.

Ключевую роль в быстром наборе скорости отколовшимся блоком в языковой части ледника могло сыграть поступление дополнительной снежно-ледовой массы в результате обвала одного из карнизов из зоны аккумуляции. В пользу этого сценария свидетельствуют аномальная протяженность пройденного лавиной пути, установленный дефицит льда в сошедшей части языка по сравнению с первоначальной оценкой [4] и быстрая деградация льда в зоне аккумуляции после 1988 г.

В климатических условиях Монгольского Алтая таяние забронированного обломками льда в теле ледово-каменной лавины за пределами нивально-гляциального пояса произошло в основном в течение 10-15 лет после события (к 2004 г.), но полностью лед вытаял через 30 лет (возможно, несколько раньше). Подобная длительность таяния объясняется большим – около половины объема лавины – содержанием каменного материала (рис. 2). Возникшие в результате вытаявания льда отложения и формы рельефа напоминают ледниковые, а сформировавшийся обломочный чехол в нижней части долины полностью повторяет рельеф подстилающих плейстоценовых морен, что при незнании лавинного происхождения данных отложений может привести к неверной интерпретации возраста ледниковых событий в хребте Цамбагарав.



**Рисунок 2.** Следы прохождения ледово-каменной лавины 1988 г. на дне долины р. Зуслан (хребет Цамбагарав, Монголия): А - в 2004 г., уступ на левобережье образован обнажением погребенного льда; Б – в 2019 г., стрелками показан участок долины на фото А с уже растаявшим льдом, овалом – блок органоминерального субстрата высотой до 4 м, оплывший со склона в период 2004-2019 гг. Вид вниз по долине (фото А.Р. Агатовой).

Возможность катастрофического поступления большого объема ледово-каменного материала из верхнего нивально-гляциального пояса к подножию высокогорных хребтов Алтая необходимо учитывать в хозяйственной деятельности. Быстрое затушевывание следов лавин последующими геоморфологическими процессами позволяет говорить о том, что сходы крупных лавин, в том числе сейсмической природы, происходили в хребтах Алтая чаще, чем можно установить сейчас в рельефе.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН.

#### Литература

1. Отгонбаяр Д. Современное оледенение Монгольского Алтая (на примере хребтов Мунххайрхан, Сутай, горного узла Цамбагарав). Барнаул: Бизнес-Коннект, 2013, 156 с.
2. Ганюшкин Д.А., Отгонбаяр Д., Чистяков К.В., Кунаева Е.П., Волков И.В. Современное оледенение хребта Цамбагарав (северо-западная Монголия) и его изменение с максимума малого ледникового периода // Лед и Снег, 2016, Т. 56, № 4, с. 437-452.
3. Herren P.A., Eichler A., Machguth H., Papina T., Tobler L., Zapf A., Schwikowski, M. The onset of Neoglaciacion 6000 years ago in western Mongolia revealed by an ice core from the Tsambagarav mountain range // Quaternary Science Reviews, 2013, V. 69, p. 59-68.
4. Авдеев В.А., Нартов С.В., Балжинням И., Монхоо Д., Эрдэнбилэг Б. Цамбагаравское землетрясение 23 июля 1988 г. (Западная Монголия) // Геология и геофизика, 1989, № 11. с. 118-124.
5. Агатова А.Р., Непоп Р.К., Ганюшкин Д.А., Отгонбаяр Д., Грига С.А. Овчинников И.Ю. Влияние землетрясения 1988 г. на оледенение и рельеф массива Цамбагарав (Западная Монголия) // Лед и Снег, 2022, Т. 62, № 1, с. 17-34.
6. Agatova A., Nepop R., Ganyushkin D., Otgonbayar D., Griga S., Ovchinnikov I. Specific Effects of the 1988 Earthquake on Topography and Glaciation of the Tsambagarav Ridge (Mongolian Altai) Based on Remote Sensing and Field Data // Remote Sensing, 2022, 14(4), 917.

7. Paul F., Linsbauer A. Modeling of glacier bed topography from glacier outlines, central branch lines and a DEM // International Journal of Geographical Information Science, 2012, V. 26, №. 7, p. 1173-1190.

УДК 551.324.63

## **ФОРМЫ РЕЛЬЕФА, СОЗДАННЫЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ЛЕДНИКА ПОД ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА (ЛЕДНИК КЫЗЫЛСУ № 825)**

**Азимшоев М.М.<sup>1</sup>, Авзалшоев Н.А.<sup>1</sup>, Курбонбеков Ф.А.<sup>2</sup>**  
*Агентство Ага Хана по Хабитат в Таджикистане<sup>1</sup> (г. Душанбе, РТ)*  
*Университет Китайской академии наук<sup>2</sup> (г. Пекин, КНР)*  
*muslim.azimshoev@akdn.org*

***Аннотация.** Настоящая статья является результатом оценочных работ о влиянии изменения климата на ледники и рельефа. Все примеры были собраны из результатов оценки проведения в рамках проекта RAVEN, HOPE, ASCENT в 2021 г. Полевые работы проводились в период с 16 по 26 сентября 2021 года исследователями из Швейцарского федерального исследовательского института WSL, участники из Центра исследования ледников Академии наук Таджикистана (GRC) вместе с геологами из Агентства Ага Хана по Хабитат (АКАН). Основным направлением исследования проекта было изучение гляциологических и гидрологических процессов, связанных с ледником Кызылсу (№ 825 по каталогу ледников СССР), в истоке небольшого водосборного притока большой реки Муксу. Геологи из Агенства Ага Хана по Хабитат изучали геологическое строение ландшафта водосбора и геологические процессы, связанные с деятельностью ледника.*

***Ключевые слова:** влияние изменения климата, рельеф, дегляциация, Ледник Кызылсу, ледниковая стадия, морена*

## **A RELIEF FORM CREATED BY THE ACTIVITY OF A GLACIER UNDER THE INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE (KIZILSU GLACIER)**

**Azimshoev M.M.<sup>1</sup>, Avzalshoev N.A.<sup>1</sup>, Kurbonbekov F.A.<sup>2</sup>**  
*Aga Khan Agency for Habitat Tajikistan, Dushanbe<sup>1</sup> (Dushanbe, RT)*  
*University of Chinese Academy of Sciences <sup>2</sup>(Beijing, China)*

***Annotation.** This article presents the results of the assessment work on the impact of climate change on glaciers and landforms. All examples were collected from the results of the assessment carried out in the framework of the project RAVEN, HOPE, ASCENT in 2021. The fieldwork was carried out in the Kizilsu watershed, Rasht Valley of Tajikistan from 16th to 26th September 2021 by researchers from the Swiss Federal Research Institute WSL, participants from the Glacier Research Centre of the Academy of Sciences of Tajikistan (GRC) together with geologists from the Aga Khan Agency for Habitat (АКАН). The focus of the project was to study the glaciological and hydrological processes associated with the Kyzylsu Glacier at the source of a small watershed tributary to the large Muksu River, and geologists from the Aga Khan Habitat Agency studied the geological structure of the watershed landscape and geological processes associated with glacier activity.*

***Keywords:** climate change impact, relief, deglaciation, Kizilsu glacier, glacial stage, moraine*

## **Введение**

Большинство крупных (долинных) и ряд мелких ледников Таджикистан находятся в стадии сокращения, некоторые ледники наступают или находятся в стационарном положении. Около 50% площади оледенения Средней Азии приходится на территорию Таджикистана [4, с. 29].

Настоящая информация является результатом первого этапа оценки, в течение которого, поставленные перед командной задачи были выполнены для исследуемого участка. Основой методики работ служило определение моренных толщ и их картирование. При определении древних и современных ледниковых толщ использовали предыдущие исследования и геологическая карта масштаба 1:200000, составленная в 1967 г.

### **Ледниковый ландшафт водосборный бассейн ледник Кызылсу (№ 825)**

Характер горного рельефа Таджикистана не везде одинаков [3, с. 64]. Здесь преобладают разнообразные ландшафты, созданные деятельностью ледников. Под влиянием изменения климата происходит дегляциация ледников. Дегляциация ледника может происходить фронтально, то есть идти путём постепенного отступления концов горных ледников.

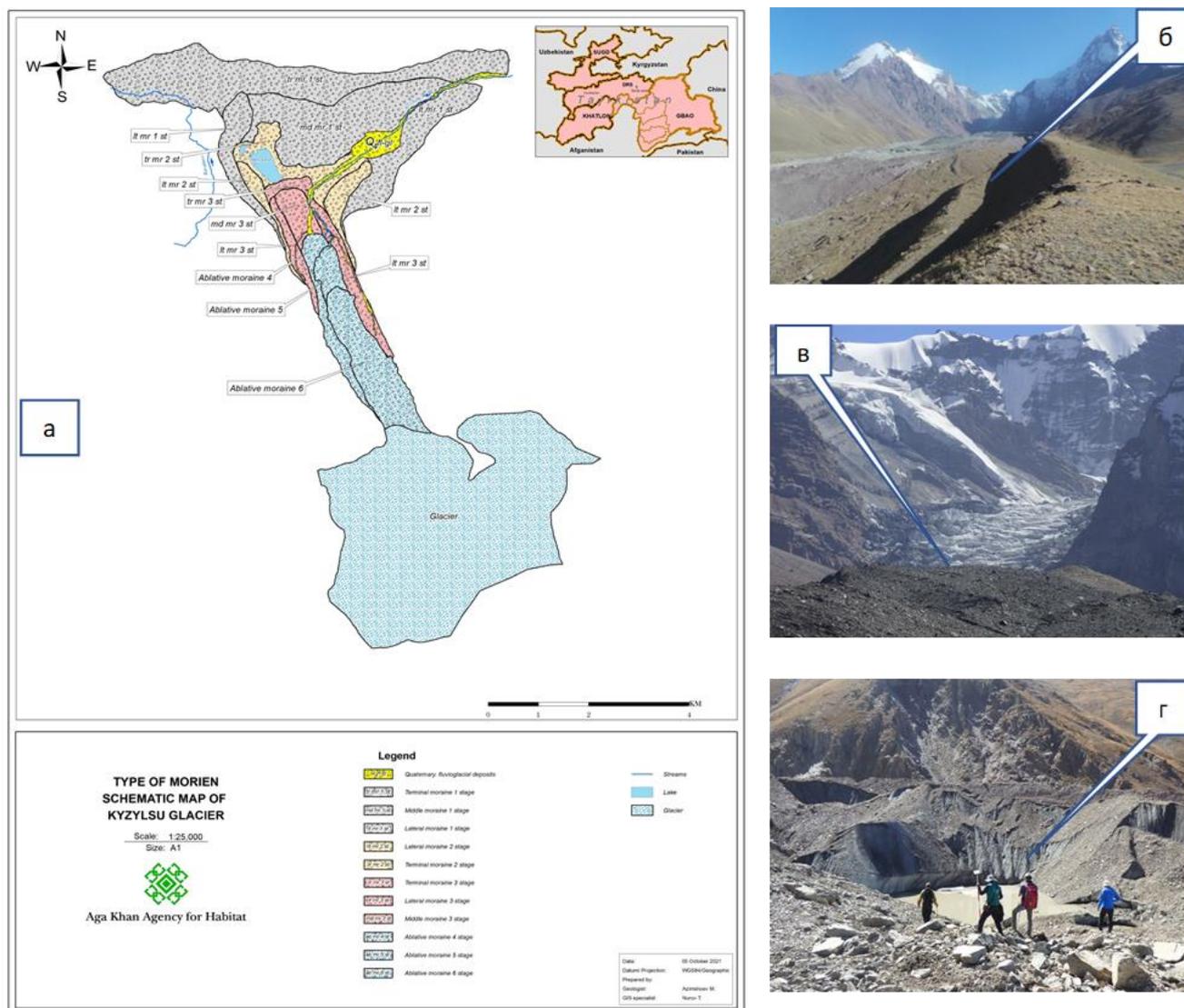
Лёд играет большую роль в создании форм земной поверхности [1, с. 118]. В Джиргитальском районе и в верхнем бассейне р. Кызылсу широко распространены ландшафты, образованные ледниками. На этой территории развиты формы рельефа, связанные как с ледниковой, так и с водно-ледниковой аккумуляцией [2].

Ледник Кызылсу (№ 825) имеет более шести стадии наступания (рис. 1 а) карта схема). Ступенчатая форма рельефа ледника Кызылсу в виде нескольких камовых террас, происходило как на фоне общего разрастания оледенения, так и в период его дегляциация за счёт потепление. Размер камовых террас, составляет от 50 до 150 м по ширине. Расстояние между конечными моренами составляет до 1 км. Каждая последующая ледниковая стадия в виде террас отделена от предыдущей межстадиальным интервалом (рис. 1 б).

Относительно кратковременный этап похолодания климата и наступания ледника обычно оставлял след в виде стадиальных боковых, срединных и конечно-моренных гряд (рис. 3 в). На леднике Кызылсу отмечаются ледниковые озёра на абляционной морене. Данные озёра, не имеют поверхностного стока, а лишь только просачиваются через плотину, которая содержит в себе лёд, и впадают в ручей Кызылсу (рис. 1 г).

Большинство крупных долин в геосинклинальных областях имеют ярко выраженную подковообразную форму. После отступления плейстоценовых ледников в верхнем части бассейне ледник Кызылсу (№ 825) произошло существенное флювиогляциальные процессы (рис 2. а и в). В верхней части водосборный бассейн ледник Кызылсу можно обнаружить все характеристики

ледниковых форма рельефа, цирки, ледниковые озера и все виды морены в том числе абляционные морены (рис 2. б). Морены сложены угловатыми обломками песчаников и известняков размером 3-5 м в поперечнике без цементации.



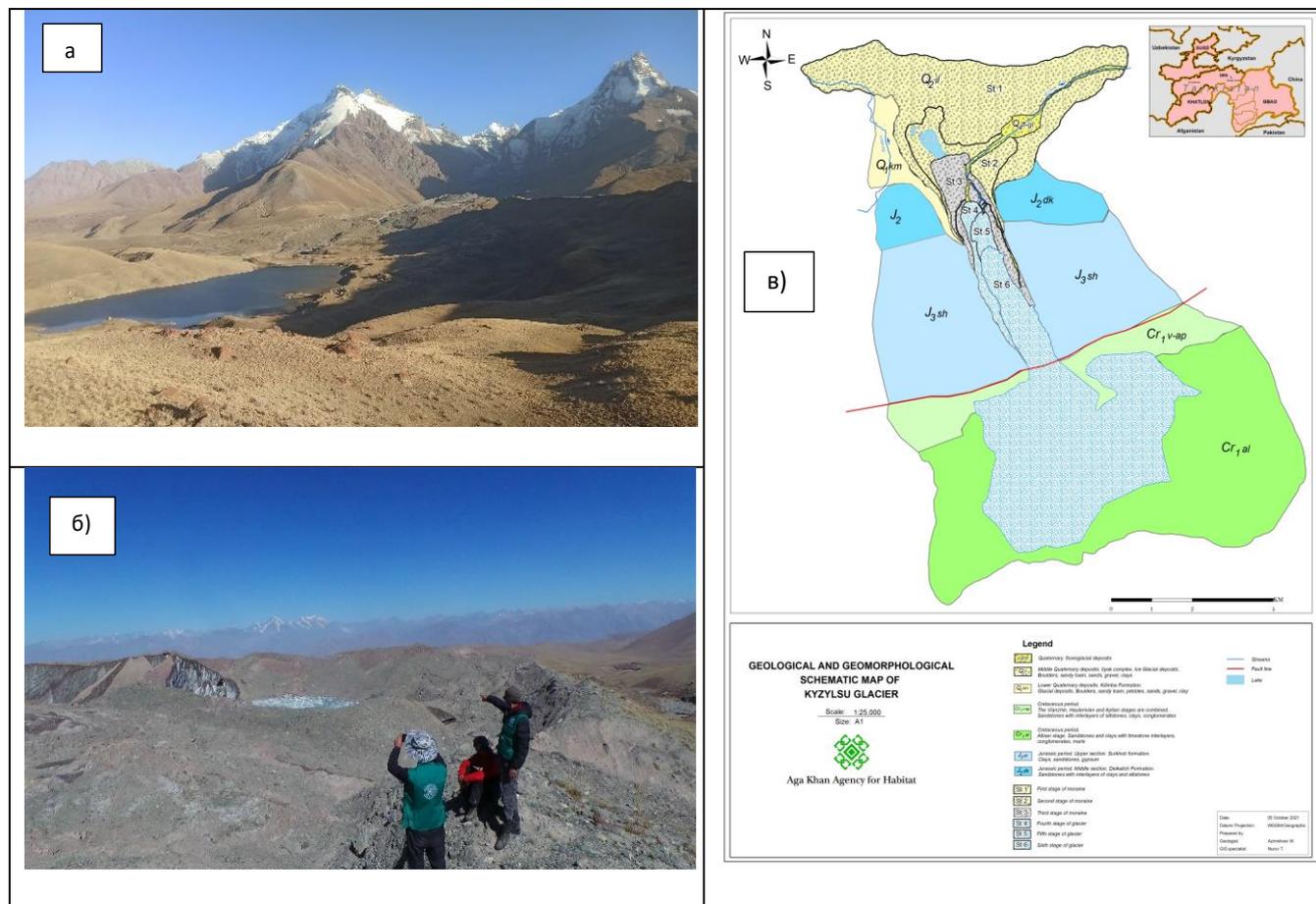
**Рисунок 1.** Формы рельефа, связанные с деятельностью ледника. а) схематическая карта ледника Кызылсу, созданная на основе боковых, срединных и конечных морен; б) ступенчатая форма рельефа на участке ледника Кызылсу в виде нескольких террас; в) конечная морена; г) ледниковые озёра на абляционной морене. (Фото Азимшоева М.М.).

## Закключение

Изменение климата, не только влияет на ледники и формы рельефа, а также может оказать воздействие на гидрологический цикл водосборных бассейнов и жизнь населения горных районов.

Геолого-гидрологические науки помогают нам предсказать глобальное изменение климата в прошлом, чтобы выработать нам единую стратегию, направленную на снижение риска и уязвимости в условиях глобального потепления и изменения климата. Использование фактического материала,

научные исследования и анализ предыдущих событий позволят предусмотреть негативные природно-геологические процессы, которые быстро влияют на ландшафт в ближайшем будущем.



**Рисунок 2.** Геоморфологическое строение исследуемого участка

а) плейстоценовый ледниковый рельеф, б) ледниковые озёра и абляционные морены, в) схематическая геологическая карта исследуемого участка (составлена на основе геологической карты масштаб 1:200000, 1967 г.)

Вся площадь суббассейна ручей Кызылсу, была изучена с помощью дешифрирования космоснимков, а также полевыми пешими маршрутами. На основании исследований было установлено, что геоморфологическое строение напрямую связано с деятельностью ледников и сейсмотектоническими условиями местности.

### Литература

1. Бранден Д., Дорнкемп ДЖ. Неспokoйный ландшафт. Издательство «МИР» Москва 1981. 118 с.
2. Горшков Г.П., Якушова А. Ф. Общая Геология. Книга. Москва.: Издательство Московского университета. 1973.
3. Махмадалиев Б.Е., Новиков В.Д., Каюмов А.Р., Каримов У.Х, Пердомо М. Национальный план действий Республика Таджикистан по смягчению последствий изменения климата. Таджикглавгидромет. Душанбе 2003. 64 с.

4. Нарзикулов И.К., Станюкович К.В. АТЛАС ТАДЖИКСКОЙ ССР. Книга. Душанбе-Москва. 1968. - 29 с.

УДК 551.332: 627.141.1

## ДЕГРАДАЦИЯ ДОЛИННЫХ ЛЕДНИКОВ И СЕЛЕВАЯ ОПАСНОСТЬ

**Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Калов Р.Х., Акаев А.Р.**  
**Высокогорный геофизический институт (г. Нальчик, РФ)**  
*inrush@bk.ru*

***Аннотация.** Приведены данные о крупнейших селепроявлениях на участках береговых морен долинных ледников на этапе их деградации. Актуальность проведенного исследования определяется необходимостью оценки опасности формирования новых селевых очагов, что достигается использованием разновременной аэрокосмической информации и сравнением с селепроявлениями максимальных масштабов, выявленных в разных горных районах.*

***Ключевые слова:** долинные ледники, деградация ледников, береговые морены, селевые потоки, селевые очаги, прорыв озера, селевая опасность.*

## DEGRADATION OF VALLEY GLACIERS AND DEBRIS FLOW HAZARD

**Bekkiev M.Yu., Dokukin M.D., Kalov R.Kh., Akaev A.R.**  
*Alpine Geophysical Institute (Nalchik, RF)*

***Annotation.** Data on the largest manifestations of debris flows in the areas of lateral moraines of valley glaciers at the stage of their degradation are presented. The relevance of the study is determined by the need to assess the danger of new debris flow formation sites, which is achieved by using different-time aerospace information and comparing it with the maximum-scale debris flow formation zones identified in different mountainous areas.*

***Keywords:** valley glaciers, glacier degradation, lateral moraines, debris flows, debris flow formation sites, lake outburst, debris flow hazard.*

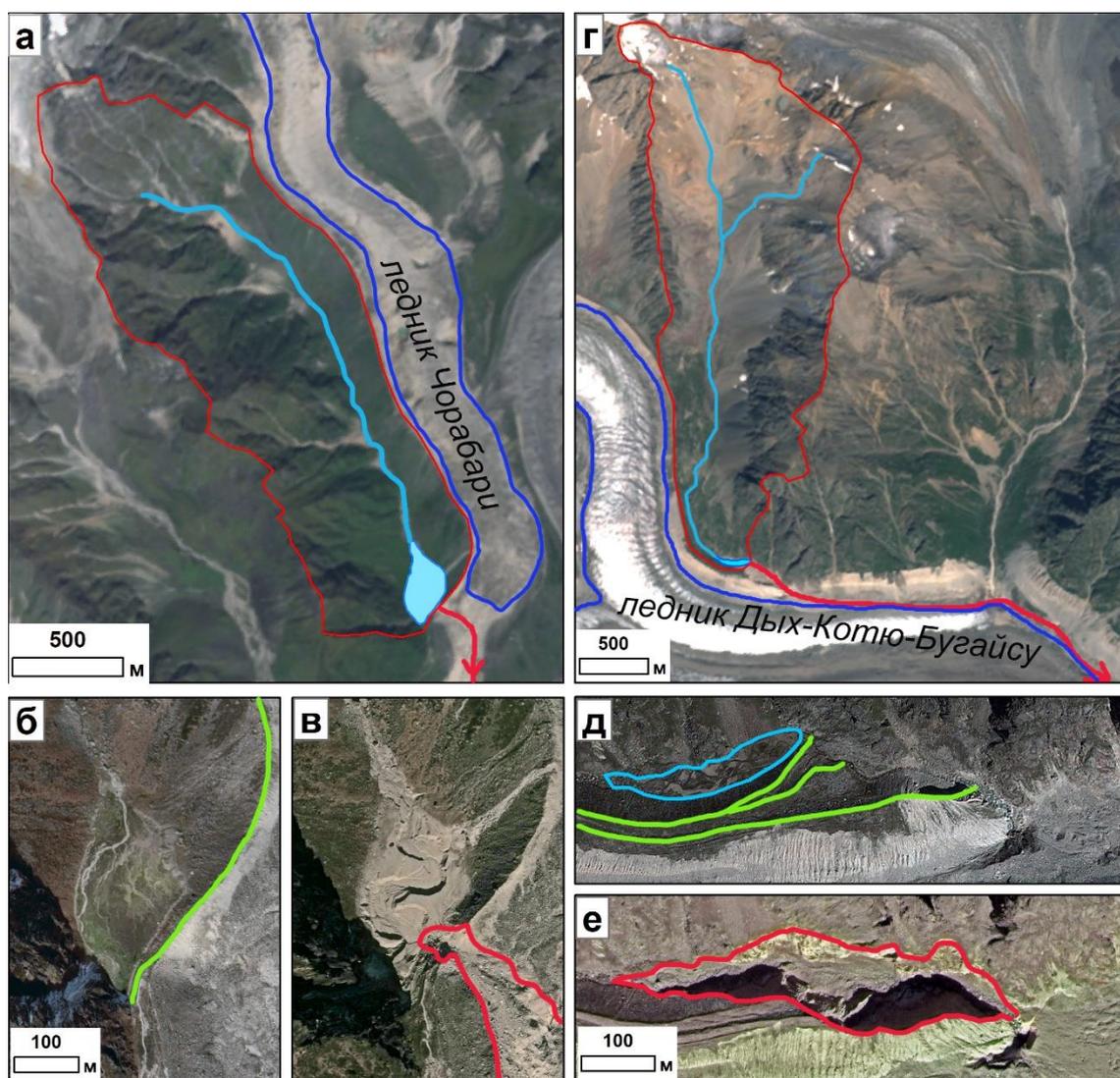
**Введение.** Исследования масштабов деградации долинных ледников Центрального Кавказа показали, что за период 1957-2020 гг. наибольшее отступление зафиксировано у ледника Дых-Су (Дых-Котю-Бугайсу) – 3280 м [1]. При отступании ледников береговые морены, покрывающие склоны обломочным материалом, вовлекались в селевые процессы, которые достигали катастрофических масштабов. Данные о селевых катастрофах в разных горных районах были получены из сообщений в сети Интернет, публикаций, а также в результате анализа разновременной аэрокосмической информации. В работе были использованы космоснимки Sentinel-2 с сайта <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/> с пространственным разрешением 10 м, а также космоснимки сверхвысокого разрешения с сервисов Google Earth и Bing Maps.

### Результаты исследований

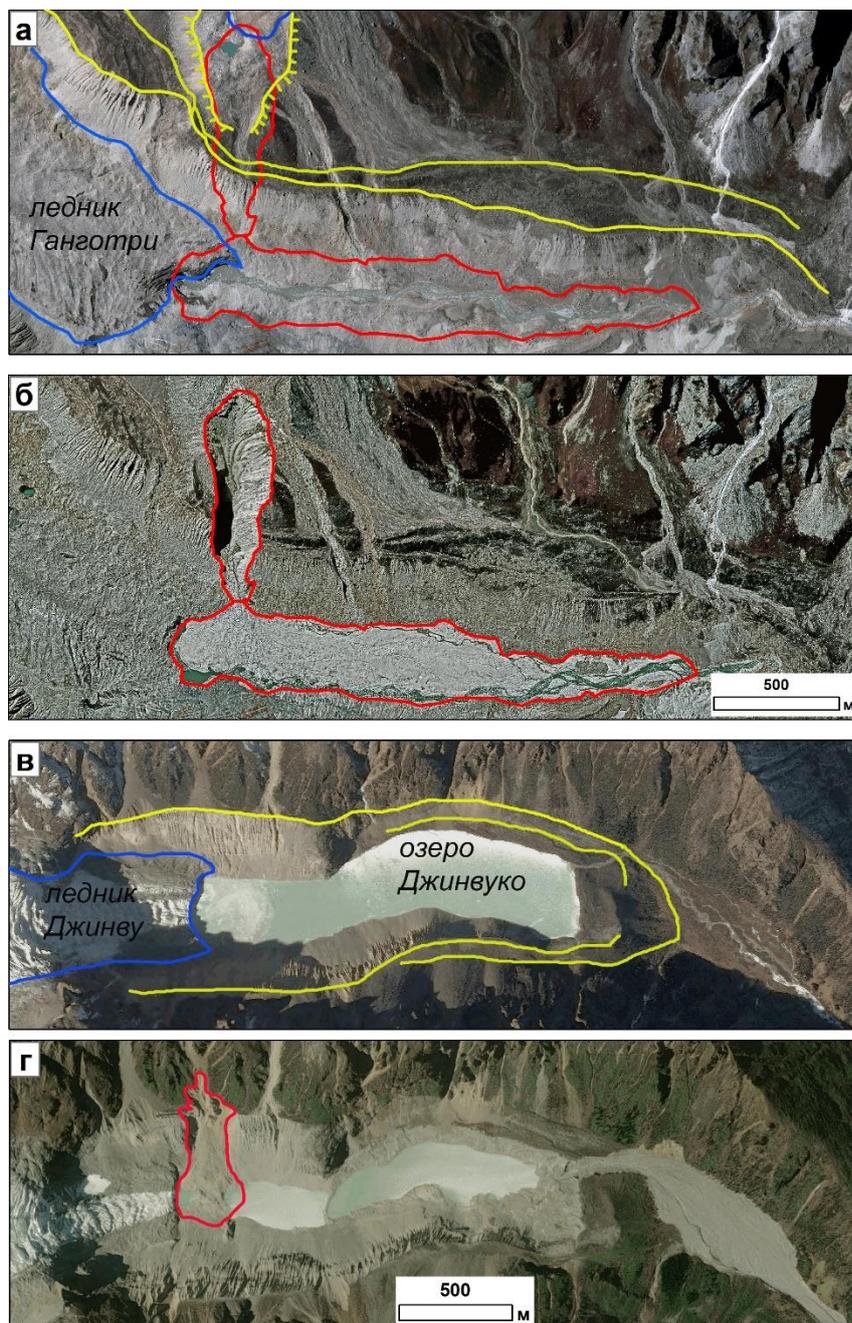
По данным анализа разновременных космоснимков и публикаций [2-4] охарактеризовано катастрофическое селепроявление (Гималайское цунами), формирование которого было связано с прорывом расположенного в кармане береговой морены и периодически исчезавшего озера Чорабари в Гималаях (штат Уттаракханд, Индия). Прорыв озера произошел 17 июня 2013 г. после ливневых дождей (за двое суток выпало 325 мм), когда в результате аномального притока воды в озеро с водосборного бассейна площадью 2.2 км<sup>2</sup>, ограниченного правой береговой мореной ледника Чорабари) (рис. 1а-в), уровень воды в нём достиг гребня морены высотой 12-15 м, и при переливе произошел быстрый размыв и обрушение морены на участке шириной 80 м (рис. 1в). Объем озера перед прорывом достигал 400 тыс. м<sup>3</sup> (по [3] – 600 тыс. м<sup>3</sup>), а расход прорывного паводка – около 800 м<sup>3</sup>/с [4]. Прорывным паводком были разрушены населенные пункты в долине р. Мандакини и погибло 6054 человека [5].

Другой случай, связанный с участком в кармане береговой морены, произошёл 5 июля 2017 г. в верховьях долины р. Черек-Балкарский (Центральный Кавказ) (рис. 1 г-е). На водосборе парагляциального левого склона площадью 3.3 км<sup>2</sup> в результате ливня сформировался водный поток, который размыв примыкающую к склону гряду береговой морены и лимнофлювиальные отложения в её кармане (площадка площадью 7.6 тыс. м<sup>2</sup> рис. 1 д) с образованием вреза шириной до 120 м (рис. 1 е). Селевым потоком было смыто 300 м дороги «Урвань-Уштулу» в 16.5 км ниже по долине.

Крупные селепроявления зафиксированы на участках карманов береговых морен, полностью заполненных материалом моренного пьедестала (рис. 2 а-б), гляциально-коллювиальными отложениями (рис. 2 б-в). В этих случаях селевые потоки были инициированы обводнением массивов в результате таяния внутреннего льда и сдвиговыми процессами. Сошедшим оползнем объёмом 1.2 млн м<sup>3</sup>, на участке береговой морены ледника Джинву была вызвана волна на озере Джинвуко (Тибет, Китай) с последующим размывом плотины озера [6] рис. 2 в-г) и формированием селевого потока.



**Рис. 1.** Селепроявления на участках карманов береговых морен: а – водосборный бассейн озера Чорабари (Гималаи, Индия), красный контур – границы водосборного бассейна озера Чорабари, красная стрелка – участок прорыва озера и начало пути прорывного паводка, голубая линия – русло водотока (космоснимок Sentinel-2 19/09/2018); б – котловина озера Чорабари до прорыва (космоснимок Google Earth 09.11.2011), зелёная линия – гребень береговой морены; в – котловина озера Чорабари после прорыва (космоснимок Google Earth 14.12.2013), красная линия – граница вреза и отложений; г- водосборный бассейн селевого очага в кармане левой береговой морены ледника Дых-Котю-Бугайсу (бассейн р. Черек-Балкарский, Центральный Кавказ), красный контур – граница водосборного бассейна селевого очага, красная линия со стрелкой – путь селевого потока, голубая линия русло водотока (космоснимок Sentinel-2 23.08.2019); д – карман береговой морены ледника Дых-Котю-Бугайсу до схода селя, голубой контур – лимнофлювиальные отложения, зелёные линии – гребни береговых морен (космоснимок Google Earth 19.09.2011); е – карман береговой морены после селя, красный контур – границы селевого вреза (космоснимок Google Earth 06.10.2017).



**Рис. 2.** Селепроявления на участках заполненных карманов береговых морен. Левая береговая морена ледника Ганготри (Гималаи, Индия) с карманом, заполненным моренным пьедесталом ледника Меру Бамак (бывшего левого притока): а – до схода селя, жёлтые линии – гребни береговых морен, со штриховкой – гребни морен, окаймляющих моренный пьедестал, красные контуры – участки будущего вреза и селевых отложений (космоснимок Google Earth 26.09.2014); б – после селя, красный контур – границы селевого вреза и селевых отложений (космоснимок 07.10.2017). Левая береговая морена ледника Джинву (Тибет, Китай) с карманом, заполненным гляциально-коллювиальными отложениями: в – до прорыва озера Джинвуко, жёлтые линии – гребни береговых морен (космоснимок Bing Maps 29.11.2016 Pleiades-1A), г – после прорыва озера, красный контур – зона отрыва и отложения оползня (космоснимок Bing Maps 17.10.2021 WorldView-2).

Предполагается, что подобным процессом на береговой морене был вызван катастрофический прорыв озера Палькакоча в 1941 г. в Перу [7]. Разжижение обломочного материала моренных пьедесталов является причиной селей гигантских объёмов [8]. Объём выноса селя с участка береговой морены ледника Ганготри (Гималаи, Индия) (рис. 2 а-б), сопряжённого с моренным пьедесталом, составлял 6.5 млн м<sup>3</sup> [9]. Прорывы озёр в карманах береговых морен могут быть вызваны оползневым процессом – прорыв озера Микелай в 2002 г. в кармане правой береговой морены ледника Караугом (Центральный Кавказ) [10].

### **Выводы**

В результате деградации долинных ледников на участках их береговых морен могут формироваться сели гигантских объёмов и катастрофических масштабов. Своевременное выявление потенциальных селевых очагов возможно в результате анализа формы и параметров береговых морен и прилегающих к ним парагляциальных склонов, сравнения с очагами катастрофических селепроявлений, выявленных в разных горных районах.

### **Литература**

1. Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Калов Р.Х., Ташилова А.А. Современная деградация долинных ледников Центрального Кавказа // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2021а. Т. 8. № 3. - С. 113-141.
2. Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Калов Р.Х., Федченко Л.М. Формирование селевых врезов на участках береговых морен долинных ледников // *Вестник Владикавказского научного центра*. 2021б. Т. 21. № 3. С. 48–55.
3. Докукин М.Д. Выдающиеся прорывы озёр в 2012–2013 гг. (по материалам Д33) // *Сборник трудов Северо-Кавказского института по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства*. 2014. Вып. 20. - С. 82–97.
4. Rao K.H.V.D., Rao V.V., Dadhwal V.K., Diwakar P. G. Kedarnath flash floods: a hydrological and hydraulic simulation study // *Current Science*. 2014. Vol. 106. No. 4. P. 598-603.
5. Human cost of disasters - An overview of the last 20 years 2000-2019. UN Office for Disaster Risk Reduction; Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. [Электронный ресурс]. URL: <https://reliefweb.int/report/world/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019> (дата обращения: 04.02.2023).
6. Zheng G., Mergili M., Emmer A., Allen S., Bao A., Guo H., Stoffel M. The 2020 glacial lake outburst flood at Jinwuco, Tibet: causes, impacts, and implications for hazard and risk assessment // *The Cryosphere*. 2021. Vol. 15. Iss. 7. P. 3159–3180
7. Klimeš J., Novotný J., Novotná I., Jordán de Urries B., Vilímek V., Emmer A., Strozzi T., Kusák M., Cochachin Rapre A., Hartvich F. Landslides in moraines as triggers of glacial lake outburst floods: example from Palcacocha Lake (Cordillera Blanca, Peru) // *Landslides*. 2016. Vol. 13. Iss. 6. P. 1479 – 1491.
8. Докукин М.Д., Черноморец С.С., Савернюк Е.А. Моренные пьедесталы – очаги формирования катастрофических гляциальных селей // *Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Материалы IV Международной конференции*. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2016. С. 67–71.
9. Kumar A., Bhambri R., Tiwari S.K., Verma A., Gupta A.K., Kawishwar P. Evolution of debris flow and moraine failure in the Gangotri Glacier region, Garhwal Himalaya: Hydro-geomorphological aspects // *Geomorphology*. 2019. Vol. 333. P. 152-166.

10. Тавасиев Р.А. Деградация ледника Караугом. Часть III. Приледниковые озера // Вестник Владикавказского научного центра. 2018. Т.18. № 4. С. 62–70.

УДК 551.58 + 551.588.16

## **К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ НА РЕЖИМ ОСАДКОВ В СРЕДНЕЙ АЗИИ ЯВЛЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОГО МАСШТАБА ТИПА ЭЛЬ НИНЬЯ И ЛА НИНЬЯ**

**Бобохонова М.Н., Кадыров Б.Ш.**

*Агентство гидрометеорологической службы министерства природных ресурсов Республики Узбекистан (Узгидромет) научно-исследовательский институт гидрометеорологии (г. Ташкент, РУзб)  
bobokhonovamaturaxon73@gmail.com*

***Аннотация.** В статье на основе данных о влиянии Эль-Ниньо на режим осадков в Средней Азии делается попытка оценить влияние Эль-Ниньо на водоносность самой большой реки региона Амударья. По данным (2014-2022гг.) наблюдений за притоком воды по реке Амударья в Приаралье по данным поста Саманбай показано наличие этой связи. Получено, что эта зависимость более наглядна в годы, когда эти явления наиболее интенсивны, так в период с интенсивными явлениями Эль-Ниньо наблюдаются значительные осадки в горной части бассейна реки Амударья (особенно в бассейнах главных притоков Вахи и Пяндж), наоборот в годы с явлением Ла-Ниньо, которые наблюдались последние 3 года, осадки были ниже нормы. Все это нашло отражение в данных по притокам воды в Приаралье.*

***Ключевые слова:** ЭНЮК, Амударья, Приаралье, режим осадков.*

## **THE INFLUENCE OF GLOBAL-SCALE PHENOMENA SUCH AS EL NIÑO AND LA NIÑA ON THE PRECIPITATION REGIME IN CENTRAL ASIA**

**Bobokhonova M.N., Kadyrov B.Sh.**

*Agency of the Hydrometeorological Service of the Ministry of Natural Resources of the Republic of Uzbekistan (Uzhydromet) Research Institute of Hydrometeorology (Tashkent, RUzb)*

***Annotation.** Based on the data on the influence of the El Nino phenomenon on the precipitation regime in Central Asia, the article attempts to assess the influence of El Nino on the water content of the largest river in the Amu Darya region. According to a small (2014-2022) series of observations of the inflow of water along the Amu Darya River in the Aral Sea region, according to the Samanbai post, the presence of this connection is shown. It is found that this dependence is more evident in the years when these phenomena are most intense, so in the years with intense El Niño phenomena, significant precipitation is observed in the mountainous part of the Amu Darya River basin (especially in the basins of the main tributaries of the Vakhsh and Panj), on the contrary, in the years with the La Niño phenomenon, which have been observed for the last 3 years, precipitation was below normal. All this is reflected in the data on water inflows in the Aral Sea region.*

***Keywords:** ENSO, Amudarya, Aral Sea region, precipitation regime.*

**Введение.** В условиях интенсификации производства сельскохозяйственной продукции на фоне нарастающего дефицита водных ресурсов в Центральной

Азии возрастает ценность методик сезонного прогноза количества осадков, позволяющих эффективно использовать «подарки» погоды в виде дождливой осени или значительного без осадочного периода. Заблаговременное знание характера предстоящего сезона, особенно по влажностным характеристикам, дает возможность заранее планировать посадку сельскохозяйственной культуры для получения второго урожая на конкретном поле. Особенно это важно для Узбекистана, который получает водные ресурсы для потребления до 90% из вне.

Взаимосвязи между явлением ЭНЮК (Эль-Ниньо - Южное колебание) и аномалиями метеорологических и океанографических полей исследовались многими учеными [1-4].

Термин "El-Nino" первоначально применялся к слабому теплomu течению, которое ежегодно возникает вдоль северного побережья Южной Америки в районе Перу после Рождества [4]. В настоящее время этим термином обозначают крупные положительные аномалии температуры воды в экваториальной зоне восточной части Тихого океана. Такие аномалии, как правило, отмечаются при отрицательных значениях (низкой фазе) индекса южного колебания. Положительным значениям (высокой фазе) индекса южного колебания, как правило, соответствуют отрицательные аномалии температуры воды в Тихом океане. Явление, связанное с отрицательными аномалиями температуры воды, в литературе встречается под названиями "Ла-Нинья" и "Эль-Ниньо". Таким образом, Эль-Ниньо является теплой, а Ла-Нинья - холодной фазой ЭНЮК. [4 с.32].

Известное явление как Эль-Ниньо по результатам исследования, проведенным в различных странах, показывает его определенное влияние на режим осадков в конкретной стране, зачастую значительно удаленную от области, охваченной влиянием данного явления. По результатам некоторого количества публикаций, влияние Эль-Ниньо на нашу территорию происходит через индийский муссон. А именно, в частности, по расположению северной границы зоны муссонного влияния. В некоторые годы отголоски муссона очень отчетливо отмечаются на Памире.

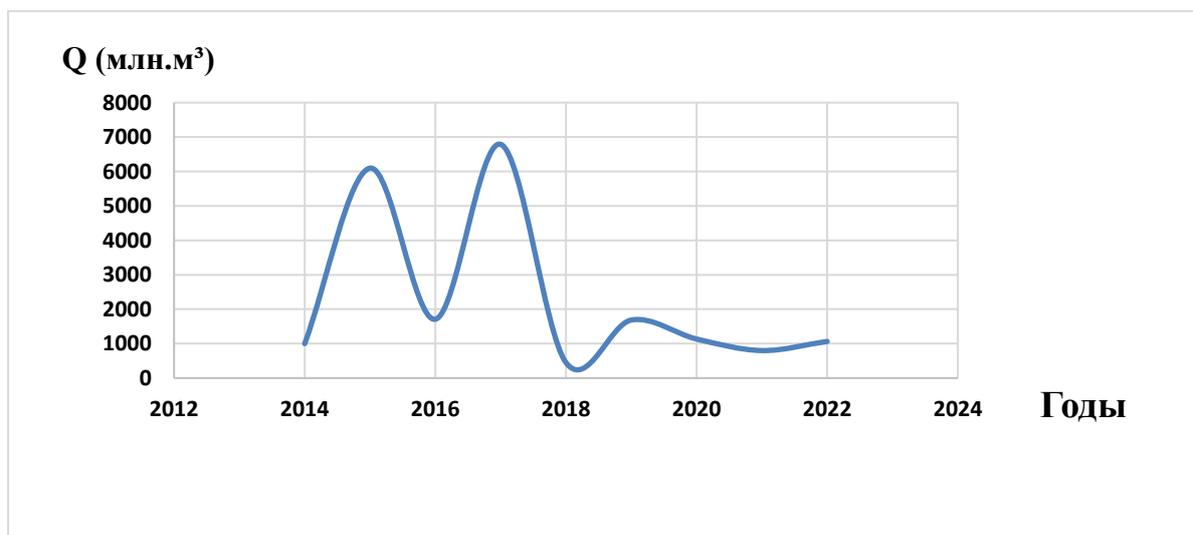
Так вот по полученным данным в годы особенно интенсивных явлений Эль-Ниньо границы муссонных явлений смещаются в более северные широты. По результатам экспериментальных наблюдений на радиолокаторах некоторые погодные явления, свойственные скорее тропикам, отмечаются и в Ферганской долине [5], так в отдельные годы высота радиэха конвективных облаков превышала 13-14 км.

Таблица 1.

**Количество воды, поступившей в Приаралье 2014-2022 гг. (млн.м<sup>3</sup>)  
р. Амударья -п. Саманбай**

Годы	Месяцы												Σ
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2014	118	123	59	46	52	55	93	102	95	133	72	50	998
2015	78	66	100	196	120	54	900	2239	848	262	500	734	6097
2016	316	183	141	145	32	92	228	117	124	138	117	75	1708
2017	118	83	75	161	884	2696	1645	259	474	242	80	73	6790
2018	70	39	119	26	26	23	24	15	13	14	30	52	451
2019	17	32	67	70	126	58	79	479	285	96	181	196	1686
2020	87	103	138	104	103	100	102	72	62	64	89	111	1135
2021	73	73	80	63	67	76	58	51	38	114	63	44	800
2022	27	74	78	51	57	89	70	113	58	62	159	227	1065

Для более наглядного представления зависимости притока воды от явлений ЭНЮК построен график, на котором эффекты Эль-Ниньо и Ла-Нинья более наглядны. Пики притока как раз и отмечались в годы Эль-Ниньо (Рис.1.)



**Рисунок 1.** Приток за отдельные годы по п. Саманбай.

**Выводы.** Таким образом, показанное на относительно небольшом материале наличие зависимости притока воды в Приаралье по реке Амударья от явления ЭНЮК позволяет гипотетически разработать сверх долгосрочный прогноз водоносности реки Амударья. Понятно, что предварительный вывод необходимо проверить на более длинном материале данных, кроме того, прогноз ЭНЮК, особенно наиболее мощных, сама по себе задача непростая.

### Литература

1. Кружкова Т.С., Панкратенко Н.В. Особенности циркуляции атмосферы в тропической зоне тихого океана и явление Эль-Ниньо. //Ленинград. Труды ГМЦ. -1991.-Вып. 316. – С. 45-49.
2. Сидоренков характеристики явления Южное колебание- Эль-ниньо. //Труды ГМЦ. - 1991.- Вып.316. – С.31-45.
3. Скрипникова Л.Е., Влияние Эль-Ниньо на погоду в Узбекистане. //Труды НИГМИ. -2006.- вып.6(251). -С.77-88.
4. О связи климатических аномалий на территории России с явлением Эль-Ниньо Южное колебание// Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова, Л. К. Клещенко, Л. Н. Аристова //МиГ, -1991.- №5. -С.32-52.
5. Имамджанов Х.А. Геометрические характеристики радиоэха конвективной облачности на севере Ферганской долины // Труды САНИГМИ ,1984г.-Вып100(181). -С.40-44.

УДК 556.5, 551.32

## МОНИТОРИНГ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАЙОНАХ АНТАРКТИЧЕСКИХ ОАЗИСОВ

Боронина А.С.<sup>1,2</sup>, Кашкевич М.П.<sup>2</sup>

*Государственный гидрологический институт<sup>1,2</sup>(Санкт-Петербург, РФ)*

*Санкт-Петербургский государственный университет<sup>2</sup>*

*(Санкт-Петербург, РФ)*

*al.b.s@yandex.ru*

*Аннотация.* Изучение опасных гляциологических процессов в полярных регионах – востребованная задача как для фундаментальной науки, так и для практических целей. В работе представлены результаты исследования опасных гляциологических процессов на важных логистических объектах оазиса Ширмахера (Восточная Антарктида). Оценена неравномерность течения ледника и возможность формирования крупных трещин в районе взлётно-посадочной полосы станции Новолазаревская, а также безопасность использования основных трасс. Показана эффективность объединения результатов полевых работ с математическим моделированием.

*Ключевые слова:* опасные гляциологические явления, ледниковые трещины, прорывы озёр, математическое моделирование, Антарктические оазисы.

## MONITORING AND SIMULATION OF HAZARDOUS GLACIOLOGICAL PROCESSES IN ANTARCTIC OASES

Boronina A.S.<sup>1,2</sup>, Kashkevich M.P.<sup>2</sup>

*State Hydrological Institute<sup>1,2</sup> (St. Petersburg, RF)*

*St. Petersburg State University<sup>2</sup>(St. Petersburg, RF)*

**Annotation.** *The study of hazardous glaciological processes in the Polar Regions is an important task both for fundamental science and for practical purposes. The article presents the results of research of hazardous glaciological processes at the key logistics facilities of the Schirmacher Oasis (East Antarctica). The ice sheet dynamics and the possibility of the formation of large crevasses in the area of the Novo Runway, as well as the safety of the use of the main routes, were analyzed. In addition, we have shown the effectiveness of combining the results of field work with mathematical modeling.*  
**Keywords:** *hazardous glaciological processes, glacial crevasses, outbursts of lakes, mathematical modeling, Antarctic oases.*

Прямая угроза для людей и инфраструктуры, возникающая в результате деятельности и эволюции ледников, является насущной проблемой во многих регионах мира. Чаще всего в подобном ключе обсуждаются горные территории, где разрушение ледовых плотин и прорывы даже небольших ледниковых озёр могут нанести значительный ущерб густонаселённым районам предгорий [1-5]. Опасные гляциологические процессы в горах в основном проявляются в виде: схода снежных и ледовых лавин; быстрого увеличения скорости течения ледника, его подвижек; образования ледниковых трещин и снежных болот; прорывов ледниковых или моренных озёр, внутрiledниковых полостей; связанных с ними наводнений, селевых потоков и лахар. Полярные регионы, в свою очередь, также подвержены воздействию широкого спектра опасных гляциологических явлений и процессов. Более того, по мере распространения и расширения деятельности исследователей разных стран в Арктике и Антарктиде эта опасность становится всё более очевидной, что делает их изучение крайне актуальным.

На территории антарктических оазисов, где сосредоточена преобладающая часть зимовочных станций, полевых баз и расположены главные транспортные узлы, связывающие побережье и глубь континента, гляциологические процессы в основном проявляются в виде: неравномерного течения ледника, трещин и провалов на его поверхности, а также прорывов озёр через снежно-фирновые и ледовые дамбы с последующим образованием в них и гротов. Возможные катастрофические последствия перечисленных процессов делают их опасными для расположения поблизости объектов инфраструктуры полярных станций. Однако зачастую избежать этого невозможно. Так, например, в районе станции Прогресс (Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида) возможность организации транспортных маршрутов значительно ограничена расчленённым рельефом местности, и трассы проложены по снежникам, в которых летом формируются каналы стока, обеспечивающие разгрузку озёрных вод [6]. Другим примером является формирование обширного провала на поверхности ледника Долк, который разрушил участок дороги, соединяющей станцию Прогресс и аэродром [7-8]. Российскую полевую базу Молодёжная (Земля Эндерби, Восточная Антарктида) окружает каскад прорывных озёр. Катастрофические сбросы воды

из самого крупного из них – озера Глубокое – происходят с периодичностью 7-10 лет и каждый раз приводят к повреждениям объектов инфраструктуры [9-10]. Аналогичные процессы происходят и в других антарктических оазисах [11-13].

В летний сезон 2021 года, в рамках 67-ой Российской антарктической экспедиции, были выполнены полевые работы, направленные на изучение опасных гляциологических процессов на важных логистических объектах оазиса Ширмахера (Земля Королевы Мод, Восточная Антарктида). В задачи работ входило: (1) обследование ледового аэродрома станции Новолазаревская на предмет формирования трещин, опасных для взлёта и посадки самолётов на колёсном шасси; (2) изучение приледникового озера Топографов на предмет безопасности трассы, проложенной по его замёрзшей поверхности и соединяющей станцию Новолазаревская и аэродром; (3) обследование каскада прорывных озёр Ледяное-Южное-Станционное и снежно-ледовых плотин, по которым также проходит основная всесезонная трасса.

*Посадочная площадка станции Новолазаревская* имеет особое логистическое значение. В индоатлантическом секторе Антарктики это одна из немногих взлётно-посадочных полос (ВПП), способных принимать тяжёлые транспортные самолёты. Ввиду своего местоположения на голубом льду она подвержена различным опасным гляциологическим процессам. Наиболее серьёзное из них связано с естественным неравномерным движением ледника, которое приводит к формированию трещин. Именно на выявление степени этой неравномерности и возможности образования крупных трещин на поверхности ледника были нацелены проводимые исследования. В процессе полевых работы на ВПП и её боковых и торцевых зонах выполнялись георадарное профилирование на частотах 150 и 400 МГц, а также двухсерийная (в начале полевого сезона и спустя 42 дня) тахеометрическая съёмка жёстко закреплённых на местности знаков. Геофизические работы позволили описать строение верхней части ледника и выявить положение существующих трещин, а тахеометрическая съёмка – инструментально измерить деформации в теле ледника. Выяснено, что на момент выполнения работ опасных трещин на ВПП не наблюдалось. Их большое количество отмечено в её начале, но все они были «залечены» в результате замерзания в них сезонных талых вод. В центральной части ВПП обнаружено сочленение двух ледниковых потоков. Их взаимодействие деформирует ледник, приводя сейчас лишь к пластическим деформациям. Однако, этот участок безопасен только при условии неизменности характера течения потоков [13]. Данные, полученные *in situ*, при всех преимуществах характеризуют ситуацию лишь в отдельный момент времени. Оценка состояния объекта в будущем возможна только посредством математического моделирования. Применительно к взлётно-посадочной полосе был выполнен расчёт скоростей деформаций в теле

ледника для выявления областей, где потенциально могут сформироваться опасные трещины, а также оценено время их замерзания при различных параметрах. Из расчётов следует что, скорости деформаций в продольном направлении (по отношению к оси ВПП) изменяются в пределах от  $-0.008$  до  $0.020$  год<sup>-1</sup>, достигая наибольших величин в центральной части. Положительные значения соответствуют зонам растяжения, отрицательные – сжатия. Скорости деформаций в поперечном направлении изменяются от  $-0.183$  до  $0.016$  год<sup>-1</sup>. Зона максимальных по модулю скоростей вновь наблюдается в интервале расстояний 1800–2200 м [13]. Таким образом, центральная часть ВПП является наиболее опасной с точки зрения образования крупных трещин. Моделирование замерзания трещины показало, что в холодном леднике со средней температурой  $-10^{\circ}\text{C}$  и ниже трещины шириной 5-10 см (что наблюдались на ВПП) замёрзнут менее чем за неделю. Более широкие (около 30 см) будут смыкаться на протяжении двух - трех недель в зависимости от температуры ледника.

*Озеро Топографов* располагается рядом со станцией Новолазаревская, на пути от неё до посадочной площадки. Поскольку водоём практически не вскрывается от льда и не прослеживается визуально, ранее трасса была проложена из соображений удобства – по кратчайшему пути по ледовой поверхности озера. Однако в феврале 2021 г. следовавший на станцию АТ-Т внезапно ушёл под лёд. В этой связи цель проводимых работ заключалась в поиске нового безопасного участка трассы и оценке возможности подъёма, утонувшего АТ-Т, выполненной посредством математического моделирования. Полевые работы включали в себя георадарное профилирование на частотах 150, 400 и 900 МГц, бурение скважин для заверки глубин и термометрических измерений, а также тахеометрическую съёмку рельефа местности. На основании полученных распределений глубин и толщин льда было установлено, что существующая трасса проложена в самом небезопасном месте – пересекает области наименьших толщин льда и значительных мощностей воды. В этой связи на участке сразу после подъёма со стороны станции Новолазаревская было рекомендовано сместить трассу на 150 м к северо-востоку и проложить её по береговой части, представленной скальными выходами, перекрытыми мощным (до 12 м) льдом. В период интенсивного приповерхностного таяния рекомендовано вовсе отказаться от пользования этой трассой из-за образования в этом районе снежных болот. Утонувший АТ-Т располагался на глубине около 5 м и верхней частью вмёрз в лёд. Для оценки его гипотетического подъёма на следующий год, было выполнено математическое моделирование. Получено, что через 1 месяц на АТ-Т нарастёт около 75 см льда, спустя полгода около 1.8 м, а через год АТ-Т вмёрзнет в лёд на 2.6 м. В декабре 2022 г. толщина льда над АТ-Т

была измерена и установлено её увеличение в два раза, что подтверждает выполненные расчёты.

*Каскад озёр Ледяное-Южное-Станционное* интересен с позиций их прорывов через снежно-ледовые плотины, по которым также проложена трасса. Состав полевых работ на каскаде озёр и перемычках аналогичен: георадарное профилирование на прежних частотах для получения морфометрических характеристик озёр, измерения глубин и толщин льда и описания внутреннего строения снежно-ледовых плотин, а также тахеометрическая съёмка для получения рельефа местности. Озеро Ледяное является самым крупным водоёмом в рассматриваемом каскаде, и именно с его прорывов начинаются наиболее разрушительные паводки. Повышение уровня воды в нём происходит либо в результате интенсивного питания талыми водами с примыкающего покровного ледника, либо из-за отколов больших глыб от ледникового склона, попадающих в водоём. Это создаёт нагонную волну, провоцирующую прорыв каскада. Озеро Ледяное сбрасывает излишки воды в озеро Южное по каналу в ледовой толще. Его ширина с средним составят 10 м, а высота достигает 1.5 м. Канал приурочен к понижениям в рельефе, дно сложено скальными породами. Прорывной паводок из этого озера можно ожидать при поднятии уровня воды в нём на 2.5 м (относительно уровня ноября 2021 г.). Озеро Южное существенно уступает в размерах оз. Ледянному, но ледовый тоннель, по которому происходит отток его водных масс во время прорыва, несопоставимо больше предыдущего. Общая длина тоннеля составляет около 250 м. Первые 200 м он полностью расположен внутри ледника, а последние 50 м поток воды промыл тоннель до скального основания. Его ширина достигает 30 м при максимальной высоте 6 м. Вблизи озера Станционное тоннель, похожий на грот, практически вырождается. Положение этого тоннеля определяется наличием в ледовой толще ослабленных зон. Для того чтобы сформировать подобный тоннель, уровень воды в озере Южное до начала сброса должен возрасти как минимум на 5 м. Моделирование прорывного паводка на всём каскаде – крайне трудная задача. В первом приближении был оценён прорыв именно озера Южное и получено, что его продолжительность в среднем не превышает 1.5 суток, а расходы воды составляют около 2 м<sup>3</sup>/с.

Таким образом, при выполнении полевых работ в оазисе Ширмахера были исследованы основные типы опасных гляциологических процессов этого района и заложена основа для продолжения их мониторинга. Показано, что математическое моделирование является неотъемлемой частью их изучения. В рамках этой работы оно позволило количественно оценить формирование и развитие отдельных опасных гляциологических процессов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда № 22–27–00266.

### Литература

1. Lliboutry L., Morales B., Pautre A., Schneider B. Glaciological problems set by the control of dangerous lakes in Cordillera Blanca, Peru. I: Historical failure of morainic dams, their causes and prevention // *Journal of Glaciology*. 1977. V. 18. No. 79. - P. 239–254.
2. Haeberli W. Frequency and Characteristics of Glacier Floods in the Swiss Alps // *Annals of Glaciology*. 1983. No. 4. P. 85–90.
3. Yamada T. Glacier lakes and outburst floods in the Nepal Himalaya // *IAHS Pub.* 1993. V. 218. P. 319–330.
4. Carey M. Living and dying with glaciers: people's historical vulnerability to avalanches and outburst floods in Peru // *Global and Planetary Change*. V. 47. No. 1-2. P. 122–134.
5. Черноморец С.С., Петраков Д.А., Алейников А.А., Беккиев М.Ю., ... & Смирнов А.М. Прорыв озера Башкара (Центральный Кавказ, Россия) 1 сентября 2017 года // *Криосфера Земли*. 2018. Т. 22. № 2. - С. 70–80.
6. Григорьева С.Д., Киньябаева Э.Р., Кузнецова М.Р., Попов С.В., Кашкевич М.П. Строение снежно-ледовых перемычек прорывных озёр полуострова Брокнес (оазис Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида) по данным георадиолокации // *Лёд и снег*. 2021. Т. 61. № 2. - С. 291–300.
7. Суханова А.А., Попов С.В., Боронина А.С., Григорьева С.Д., Кашкевич М.П. Геофизические изыскания в районе станции Прогресс, Восточная Антарктида, в сезон 63-й РАЭ (2017/18 г.) // *Лёд и Снег*. 2020. Т. 60. № 1. - С. 149–160.
8. Boronina A., Popov S., Pryakhina G., Chetverova A., Ryzhova E., Grigoreva S. Formation of a large ice depression on Dalk Glacier (Larsemann Hills, East Antarctica) caused by the rapid drainage of an englacial cavity // *Journal of Glaciology*. 2021. V. 67. No. 266. P. 1121–1136.
9. Вайгачев А.З. Прорыв ледяной плотины озера Лагерного // *Информ. бюл. САЭ*. 1965. № 54. - С. 58.
10. Kaup E. Trophic status of lakes in Thala Hills – records from the years 1967 and 1988 // *Proc. NIPR Symp. Polar Biol*. 1998. No. 11. - P. 82–91.
11. Аверьянов В. Наводнение на станции Новолазаревской // *Информ. бюл. САЭ*. 1965. № 52. - С. 53–74.
12. Боронина А.С. Крупные прорывы озёр антарктических оазисов: обобщение современных знаний // *Лёд и снег*. 2022. Т. 62. № 1. С. 141–160.
13. Попов С.В., Кашкевич М.П., Боронина А.С. Состояние взлётно-посадочной полосы станции Новолазаревская (Восточная Антарктида) и оценка безопасности её эксплуатации по данным исследований 2021 г. // *Лёд и Снег*. 2022. Т. 62. № 4. - С. 621–636.

## СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ЛЕДНИКОВ АЛТАЯ

Ганюшкин Д.А.

*Санкт-Петербургский государственный университет*

*(г. Санкт-Петербург, РФ)*

*d.ganyushkin@spbu.ru*

**Аннотация.** *Исследовано сокращение 6 ледниковых центров Алтая в период с максимума малого ледникового периода по современность. В среднем площадь ледников сократилась в два раза, высота границы питания возросла на 90-200 м. Выявлено ускорение сокращения большинства крупных ледников исследованной территории в последние 10-20 лет, вызванное с резким уменьшением баланса массы со второй половины 1990-х.*

**Ключевые слова:** *Алтай, динамика ледников, малый ледниковый период, индекс баланса массы.*

## MODERN DYNAMICS OF ALTAI GLACIERS

Ganyushkin D.A.

*Saint Petersburg State University (St. Petersburg, RF)*

**Annotation.** *The reduction of 6 glacial centers of Altai in the period from the maximum of the Little Ice Age to the present has been studied. On average, the area of glaciers has halved, the height of the feeding boundary has increased by 90–200 m. The acceleration in the reduction of most large glaciers in the studied area in the last 10–20 years has been revealed which was caused by a sharp decrease in the mass balance since the second half of the 1990s.*

**Keywords:** *Altai, glacier dynamics, Little Ice Age, mass balance index.*

На основе многолетних полевых наблюдений, в частности мониторинга ледниковых фронтов, а также дешифрирования аэрофотоснимков 1960-х гг, космических снимков Corona 1960-1970-х гг, космических снимков Landsat 7, 8, Sentinel 2, Geoeye-1, WorldView-2, палеогеографических реконструкций рассмотрена динамика ледников Русского и Монгольского Алтая с максимума малого ледникового периода (МЛП).

На территории Северо-Чуйского хребта с максимума МЛП по 2021 г. площади ледников сократились на 61%, из которых 54% приходятся на период до 2000 г, а оставшиеся 7% пришлись на период 2000-2021 годов. Средняя высота фирновой границы возросла на 207 м. На 2021 год площадь ледников составляет  $120,02 \pm 16.19$  км<sup>2</sup>. Ледник Большой Маашей за период с максимума МЛП отступил примерно на 1 км. На первом этапе (1850-1924) сокращение было медленным (в среднем 4,3 м в год). Между 1924 и 1962 гг. отступление было неравномерным: ледник то ускорял отступление до 7-8,5 м в год (1932-1937, 1952-1962), то приближался к стабилизации (в конце 1920-х и в 1944-1947). Новое замедление сокращения ледников имело место в интервале 1962-1989 гг. Начиная с 1989 года выявлено некоторое ускорение отступления (в среднем 7,1 м

в год). Начиная с 2010 года отступление резко ускорилось, в среднем до 14 м в год. В 2019-2022 годах средние скорости сокращения ледника составили 28,6 м/год.

Ледники расположенного примерно на 90 км южнее массива Таван-Богдо-Ола были реконструированы по состоянию на максимум МЛП, 1968, 1977, 1989, 2000, 2010 и полученные результаты были сопоставлены с их состоянием на 2020-2021 годы. Площадь ледников с максимума МЛП по 2020 сократилась на 46%, граница питания поднялась на 120 м. По состоянию на 2021 год суммарная площадь ледников составляет  $192,39 \pm 12,01$  км<sup>2</sup>. Ледники Таван-Богдо-Ола деградировали с более высокими темпами после 1968 года по сравнению с периодом между 1850-1968 годами. Один из интервалов наиболее быстрого сокращения ледников в 2000-2010 гг. был вызван неблагоприятным для ледников сухим и теплым интервалом 1989-2004 гг. Однако быстрое уменьшение ледников в 2000-2010 годах было в основном вызвано сокращением или исчезновением наиболее мелких ледников висячего и карового типа, крупные долинные и склоновые ледники начали быстрое отступление после 2010 года. Нынешний этап характеризуется ускоренным отступанием крупных долинных ледников: в интервале 2010-2018 отмечены скорости до 22 м/год (Аргамджи-3), 41,3 м/год (Аргамджи-2), 62,3 м/год (ледник Канас и Александры) и 76,5 м/год (ледник Потанина), в 2018-2021 годах темпы отступления немного уменьшились, но остались на высоком уровне. Долинный ледник Арнамджи-2 в 2018-2021 гг., напротив, ускорил отступление до 24,1 м в год. Склоновые ледники севера массива после 2018 года резко ускорили отступление (в 2-4 раза), на склоновом леднике № 14 отступление достигло 65 м в год при ранее фиксировавшихся 5-7 м в год. Относительно мало изменилась скорость отступления только у ледников карового типа.

Аналогичный процесс быстрого отступления зафиксировано нами для ледника Южный Алтай, крупнейшего в одноименном хребте, примыкающим к Таван-Богдо-Ола с запада. Выявлено отступление конца ледника примерно на 500 м за 20 лет, т.е. в среднем на 25 м за год. Сопоставление GPS измерений у края ледника и данных цифровой модели рельефа SRTM (2000 год) позволили выявить снижение поверхности ледника примерно на 60 м за 21 год.

На восточной периферии изучаемого нами района, примерно в 150 км от Северо-Чуйского хребта расположен горный массив Монгун-Тайга. Площадь оледенения массива Монгун-Тайга сократилось с 49,46 км<sup>2</sup> в максимум МЛП до 23,3 км<sup>2</sup> в 1995 году, 21,86 км<sup>2</sup> в 2001 году, 18,6 км<sup>2</sup> в 2011 году и 17,78 км<sup>2</sup> в 2016 г (64% сокращения с максимума МЛП). Граница питания поднялась в среднем на 135 м. Наибольшая скорость сокращения площади оледенения наблюдалась в интервале с 1995 по 2011 гг., что хорошо согласуется с данными по массиву

Таван-Богдо-Ола. Для долинных ледников массива Монгун-Тайга (Восточный Мугур, Селиверстова, Правый Мугур) реконструированное отступление в период с максимума МЛП по 1952 г. было сравнительно медленным (2,7, 2,3 и 7,0 м/год, соответственно). После небольшого ускорения отступления скорости вновь снизились в 1961-1966 годах, в последующем синхронного замедления отступления ледников не происходило. В последние годы долинных ледников ускорили отступление (44 м в год в интервале 2013-2016 ледник Селиверстова и 40,7 м в год ледник Восточный Мугур (2016-2019 гг.), долинный ледник Правый Мугур, прежде отступавший со скоростью 5-10 м в год после 2016 года начал отступать катастрофически быстро, со средней скоростью 56,5 м в год. Аналогично массиву Таван-Богдо-Ола отмечается значительно ускорение отступления ледников склонового типа (до 13-15 м в год).

Расположенный несколькими десятками километров севернее Шапшальский хребет, характеризуется дисперсным характером оледенения и преобладанием каровых ледников при отсутствии долинных и очень малом развитии склоновых ледников. Реконструировано положение, размеры и характеристики ледников в максимум малом ледниковом периоде (МЛП) (всего 372 ледника суммарной площадью 84,43 км<sup>2</sup>). При последующем сокращении произошел распад долинных ледников, исчезли ледники в бассейне р. Каргы. Граница питания поднялась в среднем на 117 м. Современная (на 2015 год) площадь ледников составляет  $14.07 \pm 0,33$  км<sup>2</sup>. Получены данные по отступанию ледника Муштук (№78), крупнейшего для Шапшальского центра оледенения, по пяти временным срезам с максимума МЛП, наиболее высокие скорости отступления реконструированы в интервале 1989-2001 гг., в интервале 2010-2016 гг. средние скорости снизились до 5 м/год.

На территории хребта Цамбагарав (Монгольский Алтай, примерно в 190 км к ВЮВ от Таван-Богдо-Ола и к ЮЮВ от Монгун-Тайги) площадь ледников уменьшилась с 128,4 км<sup>2</sup> в максимум МЛП до 82,69 км<sup>2</sup> в 1968 г, 71,32 км<sup>2</sup> в 2006 г. и до 66,9 км<sup>2</sup> в 2019 г (сокращение на 48% с максимума МЛП). Подъем границы питания в среднем составил 90 м. Полученные ряды данных об отступании концов 11 ледников этого центра оледенения хребта Цамбагарав выявили в последнее десятилетие ускорение отступления только у двух ледников (до 20 м/год), остальные ледники в 2019-2021 замедлили отступление. Возможно, медленное отступление ледников хребта Цамбагарав связано с относительно большой толщиной ледников - измеренная нами геофизическими методами толщина языка долинного ледника Эрегтийн-Гол составила от 61 до 89 м, измерения на плосковершинном леднике вершины Хух-Нуру дали значения в интервале 73-76 м, что более чем в 2 раза превышает измеренную толщину ледникового купола вершины г. Монгун-Тайга. В 2019 г. нами обследован

ледник в верховьях р. Зуслангийн, на котором в 1988 г. после землетрясения произошел обвал и сход каменно-ледяного материала на 5 км вниз, по долине. Выяснилось, что ледник не восстановил свой объем и размеры, а напротив, зафиксирована его дальнейшая деградация и разделение на 2 ледника, в связи с чем вероятность его повторного схода представляется крайне низкой.

При общей тенденции к сокращению после максимума МЛП исследованные ледниковые центры и ледники демонстрируют индивидуальность поведения, связанную с локальной климатической спецификой и различиями в морфологии. В целом можно говорить о примерно двукратном сокращении площади оледенения с максимума МЛП, для ледниковых центров с большим количеством малых ледников в максимум МЛП (массив Монгун-Тайга, Северо-Чуйский и Шапшальский хребты) сокращение было более значительным.

Выделение общих периодов ледниковых осцилляций после максимума МЛП затруднительно из-за нехватки информации по динамике ледников. В последние 10-20 лет крупнейшие ледники исследованных центров оледенения резко ускорили отступление, исключением являются Шапшальский хребет и массив Цамбагарав. где подобная тенденция пока не была установлена. Вероятно, в первом случае причиной является отсутствие ледников с выраженным языком вне цирков, во втором- с большой толщиной и высоким гипсометрическим положением ледников.

Зафиксированное нами поведение ледников, очевидно, определяется характером колебаний температуры и осадков региона. Для интервала между 1920 и 1970 гг. удалось выявить тренд к снижению летних температур, вероятно определившим наличие периодов замедления сокращения или даже стабилизации некоторых ледников региона, имевшего место вплоть до конца 1980. Согласно данным метеостанций региона Кара-Тюрек, Аккем, Мугур-Аксы, Кош-Агач, Тээли, Баян-Улгий, Катон-Карагай в период с 1995 по 2002 произошел резкий рост средней летней температуры. При этом в восточной части региона это повышение температуры совпало с аномальным сокращением годового количества осадков, продолжавшегося до 2007 г. В первую очередь на данный неблагоприятный период отреагировали практически синхронной деградацией малые ледники. В то же время, резкое ускорение отступления относительно крупных ледников произошло с запаздыванием в 10-20 лет. В последние 20 лет имеет место некоторая стабилизация средних летних температур, однако годовое количество осадков на востоке и северо-востоке региона растет (Мугур-Аксы, Тээли, Кош-Агач), в остальных районах снижается.

Для выявления климатических условий существования ледников в последние десятилетия мы провели расчет индекса баланса массы по методике Г.Е. Глазырина [Глазырин, 1985] для крупных долинных ледников Большой Маашей

(Северо-Чуйский хребет), Восточный Мугур и Селиверстова (массив Монгун-Тайга), Аргамджи-2 и Аргамджи-3 (массив Таван-Богдо-Ола), Эрегтийн (хр. Цамбагарав), каровых ледников Правый (Западный) Толайты и Муштук (Шапшальский хребет). Результаты расчетов показывают резкий «провал» в значения индекса баланса массы в период 1995-2001 гг., как реакцию на отмеченный выше «тепловой удар». Эти результаты подтверждаются нашими наблюдениями в конце 1990-х-середине 2000-х, когда в отдельные годы зона аккумуляции практически полностью исчезала на ледниках массива Монгун-Тайга (за исключением примерно 100-метрового верхнего интервала. В последние десятилетия индекс баланса массы ледников массива Монгун-Тайга и Шапшальского хребта немного растет, хотя пока далек до уровня начала 1990-х («до теплового удара»), а в остальных районах продолжает снижаться. В соответствии с выявленными тенденциями, в ближайшие годы следует ожидать продолжения ускоренного сокращения крупных ледников региона.

Исследование выполнено при поддержке РФФ, проект № 22-67-00020

#### Литература

1. Глазырин Г.Е. Распределение и режим горных ледников. СПб: Гидрометеоздат, 1985. - 181 с.

УДК 551.324.433

### СОВРЕМЕННЫЕ ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ОПОРНЫХ ЛЕДНИКОВ ТЯНЬ-ШАНЯ

Губанов А.С.<sup>1</sup>, Поповнин В.В.<sup>1</sup>, Сатылканов Р.А.<sup>2,3</sup>

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова<sup>1</sup>  
(г. Москва, РФ)*

*Тянь-Шанский высокогорный научный центр, Институт водных проблем и  
гидроэнергетики НАН Кыргызстана<sup>2</sup> (г. Бишкек, Кз)*

*Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды  
Центральной Азии<sup>3</sup>, (г. Бишкек, Кз)*

*afanasygubanov@gmail.com*

**Аннотация.** Баланс массы ( $b_n$ ) является наиболее информативным индикатором эволюции оледенения. Режим и динамику горных ледников на Тянь-Шане описывает ряд репрезентативных ледников, характеризующих оледенение в разных частях горной системы. Были выбраны пять самых продолжительных масс-балансовых серий ледников: Туюксу, Карабаткак, №1 Урумчи (Китай), Голубина и Сары-Тор. После распада СССР практически все длинные ряды наблюдений за балансом массы были прерваны, сохранить непрерывные ряды удалось только на Туюксу и леднике №1 в Китае. В 2010-х гг. наблюдения на ледниках

*Сары-Тор, Голубина и Карабаткак восстановлены. Для этих ледников выполнена реконструкция балансовых значений по связи компонентов баланса массы с метеоэлементами, восстановлена непрерывность серий значений. На основе анализа всех пяти непрерывных рядов баланса массы с 1950-ых гг. отмечены периоды деградации и стабилизации, демонстрируется ускорение убыли массы ледников Тянь-Шаня начиная с 1980-ых гг. за счёт роста расходной компоненты из-за повышения температуры воздуха при незначительном приросте осадков.*

**Ключевые слова:** ледник, баланс массы, реконструкция, мониторинг аккумуляция, абляция, температура воздуха.

## RESENT EVOLUTIONARY TENDENCIES OF TIEN-SHAN REFERENCE GLACIERS

Gubanov A.S.<sup>1</sup>, Popovnin V.V.<sup>1</sup>, Satylkanov R.A.<sup>2,3</sup>

*Moscow State University<sup>1</sup> (Moscow, RF)*

*Tien Shan alpine research center, Institute of Water Problems and Hydro-energetics National Academy of Sciences<sup>2</sup> (Bishkek, Kz)*

*Research Center for Ecology and Environment of Central Asia<sup>3</sup> (Bishkek, Kz)*

**Annotation.** *The most important indicator of glacier evolution is mass balance ( $b_n$ ). The regime and dynamics of glaciers in Tien Shan is described by a number of reference glaciers that characterize glaciation in different parts of the mountain system. The five longest mass-balance series were selected: Tuyuksu, Karabatkak, Urumqi No. 1, Golubina and Sary-Tor. But after the decay of the USSR nearly all series of direct measurements of  $b_n$  in the Tien Shan, excepting Tuyuksu, were desisted; only Tuyuksu and Urumqi №1 (in China) succeeded in maintaining continuous rows. Since 2010s observations on the Sary-Tor, Golubin and Karabatkak glaciers have been restored. For these glaciers, the balance values were reconstructed using the relationship of mass balance components with meteorological elements, and the continuity of the series of values was restored. Based on the analysis of all five continuous mass balance series since the 1950s periods of degradation and stabilization have been noted, since the 1980s an acceleration of the mass loss of Tien Shan glaciers has been demonstrated due to an increase in the expenditure component due to an increase in air temperature with a slight increase in precipitation.*

**Keywords:** *glacier, mass balance, reconstruction, monitoring, accumulation, ablation, air temperature.*

### Введение

Тянь-Шань – крупная горная система, расположенная на северо-западе Центральной Азии, на территории пяти стран. Оледенение в разных частях горной системы существует как в условиях высоких температур воздуха и большого количества атмосферных осадков на западных периферийных хребтах, так и при низких температурах воздуха с небольшим количеством осадков в континентальных областях в центре и на востоке горной системы. Условия существования ледников изменчивы во времени. Баланс массы наиболее точно передаёт состояние ледников, его компоненты измеряют комплексом прямых наблюдений. Горное оледенение Земли динамично реагирует на климатические изменения, которые отражаются на характеристиках внешнего массообмена самих ледников.

В разных частях Тянь-Шаня в XX веке, преимущественно во времена Международного гидрологического десятилетия (МГД, 1964-1974 гг.) были организованы работы на опорных ледниках, но практически все они были прекращены в 1990-е годы. Для изучения текущих эволюционных изменений среди них были выбраны пять с наиболее длительными масс-балансовыми рядами: северный Тянь-Шань характеризуют Туюксу (с 1957 г.) и Голубина (с 1960 г.), Центральный – Карабаткак (с 1957 г.) и Сары-Тор (с 1985 г.), восточный Тянь-Шань – ледник №1 (с 1959 г.). Сохранить непрерывность наблюдений удалось только на ледниках Туюксу (Казахстан) и №1 (Китай), ряды Сары-Тора, Голубина и Карабаткака прерваны в 1990-е и были восстановлены только в 2010-х гг., на ледниках Сары-Тор и Карабаткак в настоящее время прямые наблюдения ведутся при участии авторов.

В текущих сводках WGMS [1] Тянь-Шань (и всю Центральную Азию) описывают лишь 2 ледника с непрерывным рядом более 30 лет: Туюксу и №1. Всего опорных ледника на столь крупный регион не описывают полную картину флуктуаций оледенения. Вопрос косвенной реконструкции балансовых значений ледников Сары-Тор (пробел 1990-2014), Карабаткак (1998-2013) и Голубина (1994-2010) и получение непрерывных рядов позволит более полно рассмотреть текущие тенденции в эволюции ледников Тянь-Шаня.

### Методика

В настоящее время на ледниках Туюксу, №1, Карабаткак и Сары-Тор проводится комплекс полевых наблюдений за составляющими ледового, теплового и водного балансов. На леднике Голубина проводятся ограниченные работы по сбору статистики для комплексной модели ледника. Гляциологические работы на ледниках ведутся множеством методов, изложенных в работах [2; 3], тем или иным методом, наблюдения сводятся к измерению прихода и расхода вещества. Баланс массы ( $b_n$ ) считается как алгебраическая сумма зимнего ( $b_w$ ) и летнего ( $b_s$ ) балансов:  $b_n = b_w + b_s$ . Итоговые значения ежегодно пополняют в базу данных WGMS [1].

Реконструкции рядов баланса массы ( $b_n$ ) исходит из актуалистического подхода: восстановление годовых значений аккумуляции (Ак) и абляции (Аб) по их связям с метеорологическими величинами Ак, Аб =  $f(\sum_m^n X, XY)$ , функционально связанными с балансовыми составляющими ледника. В расчётах оперировать пришлось среднемесячными данными по температуре воздуха и осадкам, так как только их ряды были непрерывными. Для классических реконструкций именно эти метеоэлементы, приведенные к среднему уровню ледника, подходят лучше всего при расчёте значений аккумуляции и абляции.

Для реконструкции значений  $b_n$  ледников Карабаткак и Сары-Тор были использованы двухпараметрические зависимости. Для аккумуляции выбраны

сумма осадков  $X$  и средняя температура  $t$  за период, а для абляции – температура в сочетании со скоростью ветра  $V$  либо кубическая зависимость Кренке-Ходакова [4]. Метод показал хорошую сходимость для Сары-Тора ( $R=0.9$  для Ак,  $R>0.92$  для Аб и ошибка  $\pm 130$  мм вод. экв.) при следующих уравнениях:

$$A_k = 94 + 1,43 \sum_V^{IX} X - 72,02 t_{V-VIII};$$

$$A_b = 1487,22 + 231,63 t_{V-VII} - 70,32 V_{V-IX}; A_b = 5,3 (0,5t + 6,33)^3.$$

А для ледника Карабаткак корреляция ( $R=0.65$ ,  $R=0.81$ ) оказалась слабой. Поэтому для реконструкции  $b_n$  Карабаткака был применён альтернативный подход через поиск связи с индексом баланса по методу А.Н. Кренке [5]. В окончательном виде индекс баланса для реконструкции годовых значений выглядит так:

$$I_b = X_w - (T_s + 7.56)^{2,9}.$$

Коэффициент детерминации приемлемый,  $R^2=0.7$ , погрешность составила  $\pm 210$  мм вод. экв. Для периода верификации полученный ряд сохраняет основные эволюционные тренды и пики, хотя и сглаживает сильные аномалии.

При реконструкции значений  $b_n$  ледника Голубина был применён принципиально иной метод расчёта, предложенный В.Б. Айзиным [6]. Изменить методику пришлось из-за низкой связи компонентов  $b_n$  и метеопараметров ( $R<0.5$ ). В основу положено подобие кривых распределения удельного баланса массы по высоте. На нескольких высотных уровнях определяется функциональная связь удельного баланса массы с метеопараметрами ближайшей к леднику метеостанции (всего в нескольких километрах). Получив  $b_n$  на конце языка ( $Z_1$ ) через температуру воздуха за июнь-август  $bn_{Z_1} = 50.8 \times T_{VI-VIII} - 568.9$ ,  $R>0.9$ , значения были экстраполированы в 3 этапа ( $Z_1$  3250 м –  $Z_2$  3750 м –  $Z_3$  4100 м) с помощью программы STATISTICA (Statsoft), получены следующие уравнения аппроксимации:

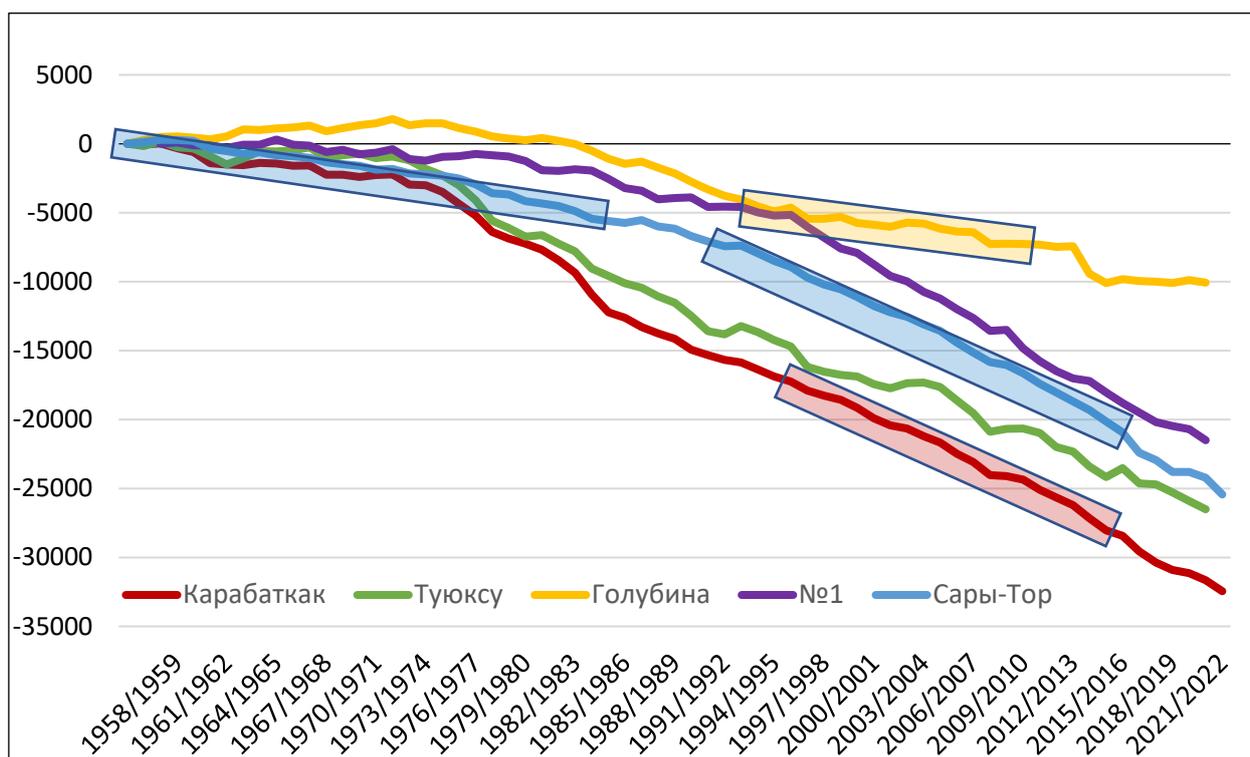
$$Z_1 - Z_2: b_n = \tilde{b}_{n1} + \bar{A}_1 \left(\frac{h_i - h_1}{\Delta h}\right)^{r_1}; Z_2 - Z_3: b_n = \tilde{b}_{n2} + [\bar{A}_2 + K(\tilde{b}_{n2} + \bar{b}_{n2})] \left(\frac{h_i - h_2}{\Delta h}\right)^{r_2}; >Z_3: b_n = \tilde{b}_{n3} + [\bar{A}_3 + K(\tilde{b}_{n3} + \bar{b}_{n3})] \left(\frac{h_i - h_3}{\Delta h}\right)^{r_3},$$

где  $A$  и  $r$  – свободные члены уравнения, которые подбирались индивидуально для каждой высоты.  $b_n$  вычислялся каждые 100 м, дробная аппроксимация повысила точность расчёта.

Ряды всех ледников были сведены к единой непрерывной последовательности с 1957 по 2021 гг.

## Результаты

Результаты прямых наблюдений и статистических реконструкций баланса массы пяти опорных ледников Тянь-Шаня позволили уточнить и дополнить понимание их современной эволюции, были ликвидированы допущенные пропуски между сериями прямых наблюдений.

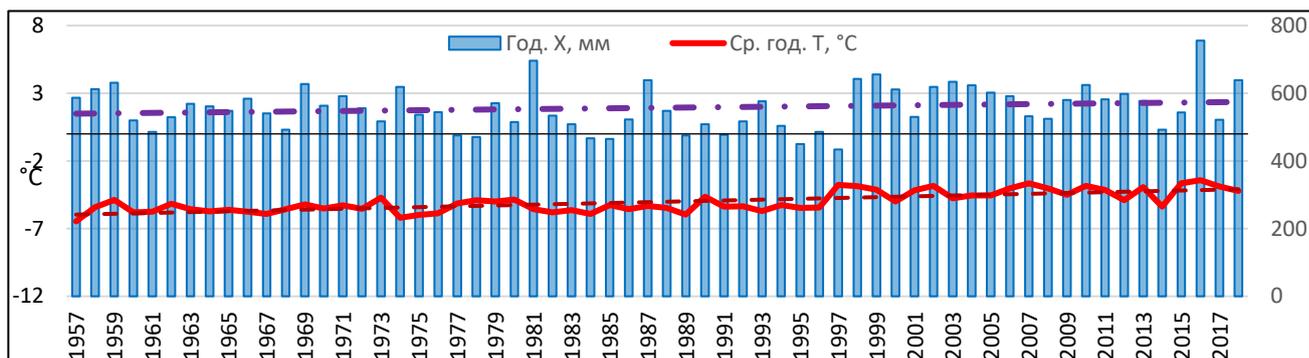


**Рисунок 1.** Кумулятивный баланс массы, мм вод. экв. Прямоугольники – периоды

Кумуляты полученных значений  $b_p$  исследуемых ледников на рис. 1 наглядно демонстрируют различные периоды эволюции ледников (оледенения в разных частях Тянь-Шаня). Репрезентативные ледники Тянь-Шаня за ~65 лет с начала наблюдений преимущественно теряли массу и отступали, теряя площадь. В 1950-60-е гг. потеря массы носила слаботрицательный (а для Голубина – положительный) характер. С середины 1970-х гг. ледники активно теряют массу: Сары-Тор, Карабаткак и №1 усиленно деградируют по настоящее время, тогда как ледники на периферии Тянь-Шаня показывают иные тенденции: ледник Туюксу несколько замедлил потерю массы, а Голубина с 2014 г. показывает признаки квазистационарности

Схожие тенденции отмечены и другими исследователями в обзорных работах. Например, М.Б. Дюргеров [7] при анализе всех масс-балансовых рядов ледников планеты отмечает квазистационарную стадию в 1950-1960-х гг., также выявлен тренд резкого ускорения потери массы с середины 1970-х гг.

В количественных значениях ежегодная потеря массы за период с 1957 по 2021 гг. у ледника Карабаткак составила -490 мм вод. экв., у Туюксу, №1, Голубина и Сары-тора – по -400, -330, -150 и -380 мм вод. экв., соответственно. Суммарно наивысшие потери массы у Карабаткака и Туюксу (32 и 26.5 м вод. экв. за 65 лет), тогда как наименьшая кумулятивная убыль отмечена у Голубина (10 м вод. экв.).



**Рисунок 2.** Средние по пяти метеостанциям годовые значения температуры  $T$  и осадков  $X$  (м/с: Адыгене, Тянь-Шань, Туюксу, Карабаткак и Дасигоу).

Среднегодовая температура воздуха с конца XIX века неуклонно растёт [8], что напрямую влияет на условия существования оледенения. За последние 60 лет на ближайших к исследуемым опорным ледникам метеостанциях она выросла на 1.3-1.5°C, а количество осадков за год возросло на 30-80 мм (рис. 2).

Главными причинами текущих изменений ледников являются флуктуации значений радиационного баланса и рост температуры воздуха. Текущая стадия глобального климатического цикла неблагоприятна для ледников Тянь-Шаня. Поэтому необходимо продолжать современные прямые наблюдения на опорных ледниках, это позволит более точно установить тенденции новейшей эволюции репрезентативных ледников Тянь-Шаня.

Работа выполнена в рамках госзадания 121051100164-0.

### Литература

1. WGMS (2022): Fluctuations of glaciers database. World Glacier Monitoring Service (WGMS), Zurich, Switzerland. <https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2022-09>
2. Дюргеров М.Б. Методические основы и программа наблюдения за колебаниями внешнего массообмена и баланса массы ледников – Материалы гляциологических исследований, 64, 1988, с. 153-163.
3. Østrem G., Brugman M. Glacier mass-balance measurements – NHRI Sci. Rep. No.4. Saskatoon, Canada, 1991, 224 p.
4. Кренке А.Н., Ходаков В.Г. О связи поверхностного таяния ледников с температурой воздуха – Материалы гляциологических исследований, 12, 1966, с. 153-163.
5. Кренке А.Н., Попова В.С. Реконструкция изменений баланса массы ледников Казбека по метеорологическим данным – Материалы гляциологических исследований, 24, 1974, с. 264-273.
6. Айзин В.Б. Реконструкция баланса массы ледника Голубина – Материалы гляциологических исследований, 62, 1988, с. 119-126.
7. Dyurgerov M.B. Glacier mass balance and regime: data of measurements and analysis – Occasional Paper No. 55, Boulder, Colorado, 2002.
8. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The physical science basis. contribution of working group i to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change – Cambridge University Press, Cambridge, UK and USA. doi:10.1017/9781009157896.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА В СВЕТЕ ПОСЛАНИЙ ПРЕЗИДЕНТА РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

**Давронов И.О., Касымова Ф.А.**

*Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе (г. Душанбе, РТ)  
davronovilyos@mail.ru*

***Аннотация.** Президент является гарантом Конституции и законов, прав и свобод человека и гражданина, национальной независимости, единства и территориальной целостности, преемственности и долговечности государства, согласованного функционирования и взаимодействия государственных органов, соблюдения международных договоров Таджикистана. В данной статье анализируется роль Президента Республики Таджикистан и его акты в обеспечении реализации экологических прав человека.*

***Ключевые слова:** Президент, экологические права, акты Президента, гарант Конституции и законов, глобальные инициативы.*

## ENVIRONMENTAL POLICY IN THE LIGHT OF MESSAGES OF THE PRESIDENT OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

**Davronov I.O., Qasymova F.A.**

*Lomonosov Moscow state university in Dushanbe (Dushanbe, RT)*

***Annotation.** The President is the guarantor of the Constitution and laws, human and civil rights and freedoms, national independence, unity and territorial integrity, continuity and longevity of the state, coordinated functioning and interaction of state bodies, compliance with international treaties of Tajikistan. This article analyzes the role of the President of the Republic of Tajikistan and his acts in ensuring the implementation of environmental human rights.*

***Keywords:** President, environmental rights, acts of the President, guarantor of the Constitution and laws, global initiatives.*

Согласно ст. 12 Закона Республики Таджикистан «Об охране окружающей среды» от 2 августа 2011 года граждане Республики Таджикистан имеют право на проживание в благоприятной для здоровья и жизни окружающей среде и пользование ее благами, на защиту окружающей среды от негативного воздействия, вызванного хозяйственной и иной деятельностью, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера.

Неэффективное хозяйствование, бесцельное развитие, рост неопределенностей и рисков, вызванных изменением климата и другими факторами, ставят под угрозу многие экологические системы.

В современном мире растет осознание угрозы необратимой деградации компонентов окружающей среды, понимание ответственности перед будущими поколениями за нерациональное использование природных и общественных ресурсов. При этом сохраняется пренебрежение к законам природы и нарушение

этики воздействия на окружающую среду, что ведет к снижению продолжительности жизни и к потере здоровья населения планеты.

Сегодня проблемы охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности, обеспечении реализации экологических прав человека, экологического образования и воспитания, формирования экологического сознания населения все чаще выходят на первый план при принятии научных, технологических, экономических и социальных решений на международном и внутригосударственном уровнях. Становится актуальным взаимодействие и согласование позиций различных стран при решении общих экологических проблем, включая природопользование.

Таджикистан как полноправный субъект международного сообщества продолжит международное сотрудничество в вопросах экологии. Таджикистан уделяет серьезное внимание проблемам региона, в том числе ситуации в бассейне Аральского моря. Наша страна является одним из учредителей Международного фонда спасения Арала, наряду с другими государствами региона Центральной Азии направляет все свои усилия на решение этой региональной и мировой проблемы.

Республика Таджикистан уделяет серьезное внимание не только трудностям по спасению Аральского моря, но и проблемам обеспечения населения мира питьевой водой и экономного использования водных ресурсов. Президент Таджикистана Эмомали Рахмон проявляет также дальновидный и серьёзный подход к важнейшим вопросам, связанным с будущим человечества. Инициативы Президента Республики Таджикистан об объявлении 2003 года Международным годом чистой воды, признание 2005 – 2015 годов Международным десятилетием действия «Вода для жизни», поддержанного более 180 странами мира, объявлении 2013 года «Международным годом сотрудничества в водной сфере» и признание 2018 – 2028 годов Международным десятилетием действия «Вода для устойчивого развития» являются ярким свидетельством роста авторитета Таджикистана на международной арене, по вопросам экологии.

Также необходимо отметить, что Генеральная Ассамблея ООН консенсусом приняла предложенную Таджикистаном резолюцию об объявлении 2025 года «Международным годом сохранения ледников» и 21-го марта «Всемирным днём ледников». В соответствии с данной резолюцией, «в рамках ООН создается Целевой международный фонд по вопросам сохранения ледников. Принятие данной резолюции, действительно, являясь важным событием которая даёт международному сообществу возможность предпринимать необходимые совместные меры по сохранению крупнейших источников питьевой воды» [1].

Президент Республики Таджикистан Эмомали Рахмон на своем выступлении на первой встрече Панели высокого уровня по воде и климату отметил что, “изменение климата вносит коррективы в нашу повседневную жизнь, прежде всего, за счет воздействия на водные ресурсы” [2].

Исходя из вышеизложенного глава государств играют важную роль в предотвращении последствий изменения климата и обеспечении экологических прав человека.

Глава государства определяет основные направления внутренней и внешней политики государства и предопределяет ее эффективность через правовые формы воздействия на деятельность институтов публичной власти.

Президент осуществляет экологическую функцию государства в рамках реализации экологической политики государства - формирование и дальнейшее развитие экологического законодательства, его состояние и способность обеспечивать эффективное правовое регулирование в сфере взаимодействия общества и природы, последовательное и неукоснительное исполнение экологического законодательства.

Согласно ст. 64 Конституции «Президент Республики Таджикистан является главой государства и исполнительной власти (Правительства)».

Избираемый гражданами Таджикистана на основе всеобщего равного и прямого избирательного права, Президент Республики Таджикистан является выразителем интересов всего народа Таджикистана. Разумеется, к числу таких интересов относятся и экологические интересы.

С учетом роли природы в жизни человека, статуса природных ресурсов как исключительной собственностью государства (ст. 13 Конституции), эти интересы связаны с необходимостью осуществления государством деятельности, направленной на экологически обоснованное и социально справедливое распоряжение природными ресурсами, на обеспечение рационального природопользования, охрану окружающей среды, соблюдение экологических прав и законных интересов граждан.

Еще одно обстоятельство, играющее существенное значение для определения роли актов Президента в обеспечении реализации экологических прав человека и гражданина в РТ, обусловлено содержанием ч.2 ст. 64 Конституции. В соответствии с ней Президент является гарантом Конституции и законов, прав и свобод человека и гражданина, национальной независимости, единства и территориальной целостности, преемственности и долговечности государства, согласованного функционирования и взаимодействия государственных органов, соблюдения международных договоров Таджикистана.

Статус Президента как гаранта Конституции означает, что он в пределах предоставленных ему полномочий, должен требовать от всех государственных органов неукоснительного соблюдения Конституции. В контексте обеспечения экологических прав человека, это, прежде всего, соблюдение ее экологических положений.

Президент является также гарантом прав и свобод человека и гражданина. Несмотря на то, что обе составляющие статуса Президента как гаранта во многом взаимосвязаны (гарантируя соблюдение Конституции, он одновременно гарантирует и соблюдение прав и свобод, равно как и наоборот) и в процессе их практической реализации используются в основном одни и те же полномочия (право законодательной инициативы, принятие нормативных актов, приостановление действия актов правительства и др.), тем не менее, их разделение в тексте Конституции неслучайно.

Выделение прав и свобод человека в качестве обособленной социальной ценности, соблюдение, охрану и защиту которой гарантирует Президент, также предопределяет его особую роль в рамках государственной экологической политики. Именно он, при помощи предоставленных ему Конституцией полномочий, гарантирует соблюдение, охрану и защиту экологических прав граждан всеми органами государственной власти. При этом речь идет о всех экологических правах, установленных в законодательстве (создавать общественные объединения, осуществляющие деятельность в области охраны окружающей среды; право свободно и бесплатно пребывать в лесах; право доступа к водным объектам общего пользования и др.).

Особая роль Президента в государственной экологической политике предопределяется не только его политико-правовым статусом, но и полномочиями, которыми он наделен в соответствии с Конституцией. Одно из важнейших полномочий, вытекающее из содержания ст. 69 Конституции и одновременно задача Президента как главы государства в рамках экологической политики — это определение ее основных направлений. Данная сфера деятельности Президента играет во многом ключевую роль для обеспечения эффективности экологической политики государства.

Это выражается в его ежегодных посланиях. Как отмечает, А.М. Диноршоев «одним из важнейших институтов современной государственности является послание главы государства парламенту страны, который предусмотрен в Конституциях большинства стран мира. Данный институт, определяя основные направления развития государства в правотворческой, политической, экономической, социальной, духовной и идеологической сфере, выступает в качестве связующего звена между главой государства и представительными органами государства [3, с. 54]. Президентское послание рассматривается как

метод информирования парламента о внутренней и внешней политике Правительства, и такой метод распространен в так называемых президентских республиках, где президент одновременно является и главой Правительства и главой государства [4, с. 29]. По мнению М. Махмудова и Р.Ш. Сативалдыева послание Президента Парламенту является новой формой реализации Президентом законодательной инициативы [5, с. 21].

В Послании Президента Республики Таджикистан Эмомали Рахмона Маджлиси Оли от 26 декабря 2019 года говорится следующее: «...объем выбросов парниковых газов в Таджикистане на каждого человека - самый малый в масштабе региона, и это является нашим вкладом в улучшение экологической ситуации региона и планеты. Для достижения такого уровня нам способствует широкое использование возобновляемых источников энергии, больше всего гидроэнергетики. Напомню, что широкое использование возобновляемых источников энергии, в особенности водных ресурсов, считается одним из основных источников выработки «зеленой энергии» и развития зеленой экономики» [6].

Послание Президента не является правовым актом Президента. Его предназначение состоит в том, что он представляет собой конституционный акт программного свойства, который определяет направления деятельности государства в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе [4].

Для выражения содержания государственной экологической политики Президент использует различные формы. Это могут быть утверждаемые им доктрины, концепции, стратегии и программы (например, Государственная экологическая программа Республики Таджикистан на 2009-2019 годы (2009)).

Несравнимо большим потенциалом (в сравнении с другими полномочиями) обеспечения соблюдения законодательной властью экологических положений Конституции и экологических прав граждан обладает полномочие Президента, предусмотренное п. 14 ст. 69 Конституции –подписание законов.

Из содержания этой статьи следует, что Президент завершает законодательный процесс. Однако, прежде чем подписать и обнародовать закон, гарант Конституции и экологических прав граждан обязан удостовериться в том, что представленный на подписание законодательный акт соответствует Конституцию, а как гарант экологических прав человека и гражданина, обязан убедиться, что он не нарушает эти права. В случае если закон противоречит Конституции, не отвечает общественным экологическим интересам, нарушает или иным образом ущемляет экологические права граждан, Президент в соответствии с. 62 Конституции имеет право его отклонить.

Из названных конституционных положений следует также и то, что Президент наравне с законодательной властью ответственен за состояние

экологического законодательства, а именно за то, предусматривает ли оно эффективный правовой механизм соблюдения экологических положений Конституции и экологических прав граждан. Для того чтобы гарантировать соблюдение Конституции и экологических прав граждан в деятельности исполнительной власти, важнейшее значение играют положения Конституции, содержащиеся в п.6 ст. 69 в которой устанавливается, что Президент Республики Таджикистан отменяет или приостанавливает действия актов органов исполнительной власти в случае их противоречия Конституции и законам.

В заключение отметим, что краткий анализ отдельных законодательных положений действительно позволяет сделать вывод о том, что они определяют среди всей конституционной системы государственной власти особую роль Президента Республики Таджикистан в реализации и обеспечение экологических прав человека и гражданина.

### Литература

1. Послание Президента Республики Таджикистан Эмомали Рахмона Маджлиси Оли от 23.12.2022 / Электронный ресурс: Режим доступа: URL: <http://www.president.tj/ru/node/29824> (Дата обращения: 06.03.2023).
2. Э. Рахмон. Выступление на первой встрече Панели высокого уровня по воде и климату в формате видеоконференции <http://www.president.tj/ru/node/25171>.
3. Диноршоев А.М. Правовая природа послания Президента Республики Таджикистан // Государствоведение и права человека. № 1. 2016. С.54.
4. Тахиров Ф.Т. Политико-правовое значение послания Президента // Народная газета от 30 июля.2005. - № 29.
5. Махмудов М., Сативалдыев Р. Законодательная инициатива Президента Республики Таджикистан и её значение в развитии независимого государства. -Душанбе, 2011. - С. 21. (на тадж. яз.).
6. Послание Президента Республики Таджикистан Эмомали Рахмона Маджлиси Оли от 26.12.2019 / Электронный ресурс: Режим доступа: URL: <http://www.president.tj/ru/node/21977> (Дата обращения: 06.03.2023).

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ КАК ОСНОВНОЙ ФАКТОР СТАБИЛЬНОСТИ ГОСУДАРСТВА

Диноршоев А.М.<sup>1</sup>, Обидова М.Н.<sup>2</sup>

*Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе<sup>1</sup> (г. Душанбе, РТ)  
Таджикский государственный университет права, бизнеса и политики<sup>2</sup>  
(г. Худжанд, РТ)*

*Аннотация.* В статье авторами исследуются вопросы обеспечения экологической безопасности в Республике Таджикистан, через призму формирования государственной экологической политики. Особо подчеркивается роль Основателя мира и национального единства-Лидера нации, Президента Республики Таджикистан Эмомали Рахмона в решении глобальных мировых проблем в сфере экологии.

*Ключевые слова:* Президент Республики Таджикистан, экологическая безопасность, экологическое законодательство, защита экологических прав человека

## ECOLOGICAL SAFETY AS THE MAIN FACTOR OF STATE STABILITY

Dinorshoev A.M.<sup>1</sup>, Obidova M.N.<sup>2</sup>

*Lomonosov Moscow State University in Dushanbe<sup>1</sup> (Dushanbe, RT)  
Tajik State University of Law, Business and Politics<sup>2</sup>(Khujand, RT)*

*Annotation.* In the article, the authors examine the issues of ensuring environmental security in the Republic of Tajikistan, through the prism of the formation of state environmental policy. The role of the Founder of Peace and National Unity - the Leader of the Nation, the President of the Republic of Tajikistan Emomali Rahmon in solving global environmental problems is especially emphasized.

*Keywords:* President of the Republic of Tajikistan, environmental safety, environmental legislation, protection of environmental human rights.

В современном глобализирующемся мире проблемы обеспечения экологической безопасности, выступают в качестве одной из фундаментальных мировых проблем. Осознавая степень нависшей угрозы мировое сообщество пытается выработать механизмы, которые будут способны обеспечить экологическую безопасность человечества. Как показывают статистические данные во многих государствах мира наблюдается постепенное ухудшение окружающей среды. С целью предотвращения различных экологических катастроф, государства мира предпринимают определенные усилия в различных направлениях, целью которых выступают улучшение и стабилизация окружающей среды.

В решении экологических проблем активную позицию занимает и Республика Таджикистан. Так, 14 декабря 2022 года на 77-й сессии Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций единогласно принята резолюция об объявлении 2025 года «Международным годом сохранения ледников» и 21-го

марта «Всемирным днём ледников». Данная инициатива была предложена Основателем мира и национального единства- Лидером нации, Президентом Республики Таджикистан, уважаемым Эмомали Рахмоном. По своей сути данная инициатива является уникальной, так как в ней одновременно объявляется как Международный день, так и Международный год сохранения ледников. Как отметил в ходе своего послания 23 декабря 2022 года, Лидер нации «вызывает удовлетворение, что Таджикистан на международной арене признан в качестве активного инициатора в решении вопросов, связанных с водой и климатом. 14 декабря текущего года Генеральная Ассамблея ООН консенсусом приняла предложенную Таджикистаном резолюцию об объявлении 2025 года «Международным годом сохранения ледников» и 21-го марта «Всемирным днём ледников». Мы все гордимся, что в масштабах планеты будет реализована пятая глобальная инициатива нашей страны по вопросам воды и климата. Принятие данной резолюции, действительно, являясь важным и историческим событием мирового масштаба, предоставляет международному сообществу возможность предпринимать необходимые совместные меры по сохранению огромнейших источников питьевой воды» [1].

Как отмечает Д.С. Рахмон «Лидер нации благодаря своим глобальным инициативам сумел объединить различные нации и народности для решения этих планетарных проблем, о которых мы упоминали на примере ледников Таджикистана, и с другой стороны, представлять и продвигать ценности экологической культуры суверенного таджикского народа на международном уровне» [2]. Далее он отмечает, что «глобальные инициативы, реализуемые Таджикистаном по водным вопросам, такие как «Год чистой воды» (2003 г.), Десятилетие действий «Вода для жизни» (2005-2015 годы), «Водная дипломатия или сотрудничество в водных вопросах» (2013 г.) и Международное десятилетие действий «Вода для устойчивого развития, 2018-2028 годы» являются наглядным доказательством глобального влияния лидера таджикского народа, уважаемого Эмомали Рахмона и важности рассматриваемых вопросов» [2] .

Действительно Правительство Республики Таджикистан реализует активную политику в сфере обеспечения экологической безопасности. В частности, за последние годы в стране разработаны и приняты ряд стратегий, концепций и отраслевых программ по реализации экологической политики, такие как «Концепция охраны окружающей среды в Республике Таджикистан», «Государственная экологическая программа Республики Таджикистан на 2009-2019 годы», «Комплексная государственная программа развития экологического воспитания и образования населения Республики Таджикистан на период до 2020 года», «Государственная программа по изучению и сохранению ледников

Республики Таджикистан на 2010-2030 годы». Таджикистан как независимая страна входит в 10 международных конвенций в области окружающей среды.

Иными словами, Таджикистан как активный член региональных и международных организаций, выполняет свою миссию по решению глобальных проблем. Политика Правительства страны в этом плане направлена, с одной стороны, на стабилизацию экологической ситуации на национальном уровне, с другой стороны, определяет магистральные направления мирового сотрудничества в экологической сфере в целом и в водно-климатических вопросах в частности. Все эти действия направлены на обеспечение такого важного аспекта жизнедеятельности современного государства, как экологическая безопасность.

Вопросы обеспечения экологической безопасности охватывают комплекс действий, которые направлены на защиту окружающей среды. Как отмечает Ю.Д. Сафонова «ключевая особенность экологической безопасности состоит в защите не только граждан от различных ситуаций экологического характера, таких как природных катастроф или бедствий, созданных человеком, но и от воздействия на человека отрицательного фактора, связанного с загрязнением окружающей среды». [3, с. 7-14] В свою очередь, Г.А. Тимофеев и О.М. Орлинская указывают, что «экологическая безопасность является компонентом национальной безопасности, гарантирующим защищенность жизненно важных интересов человека, общества, государства и окружающей среды от реальных или потенциальных угроз, создающихся природными или антропогенными факторами» [4, с. 73]. Авторы учебного пособия «Экологическое право» в свою очередь, указывают, что «экологическая безопасность воспринимается как совокупность современных общественно-экономических отношений, представляющее собой устойчивое состояние глобального характера, которое сочетает в себе сложное политико-правовое единство различных систем, содержащих взаимосвязанные элементы» [5, с. 369]. Исходя из этого, они включают в содержание понятия «экологическая безопасность» такие элементы, как правовое регулирование, организационные и материальные гарантии защиты окружающей среды государством от негативного антропогенного воздействия на природу [5, с. 369].

А.Р. Махмутов исследуя вопросы экологической безопасности трактует её через призму права человека на благоприятную окружающую среду и определяет её как «важнейший статус безопасности жизненно важных экологических интересов человека, прежде всего его прав на чистую, здоровую, защищенную, благоприятную окружающую природную среду для жизнедеятельности, возникающее при достижении сбалансированного сосуществования окружающей среды и хозяйственной деятельности человека,

когда уровень нагрузки на окружающую среду не превышает ее способности к самовосстановлению. В понятие экологической безопасности включена, как система регулирования, так и система управления, которая дает нам знать точный прогноз, и не допустить экологические проблемы. А в случае возникновения чрезвычайных ситуаций - ликвидировать последствия» [6, с. 207].

Исходя из существующих в науке подходов к определению понятия «экологическая безопасность» можно сделать два основных вывода. Во-первых, экологическая безопасность является неотъемлемым и системообразующим элементом национальной безопасности. Как известно, национальная безопасность формируется из различных составных элементов, таких как политическая, экономическая, военная безопасность и т.д. При этом, экологическая безопасность в данной системе составных элементов национальной безопасности выступает в качестве связующего звена. В этом контексте следует согласиться с позицией высказанной А.Манлай о том, что «экологическая составляющая каждого из указанных видов безопасности может стать тем стержнем, который объединит их в систему национальной безопасности, поможет найти их оптимальное соотношение в этой системе. На современном этапе уже не вызывает сомнений тезис о том, что любой аспект национальной безопасности, будь то экономический, технологический или оборонительный, теряет свой смысл в случае непригодности среды для жизни и деятельности человека. Вот почему экологическую безопасность следует рассматривать как интегратор, способный, с одной стороны, консолидировать общество, а с другой – обеспечить его прогрессивное движение» [7, с. 63-64].

Во-вторых, понятие экологической безопасности, носит предупредительно-превентивный характер, т.е. предусматривает создание механизмов и условий, которые направлены на предотвращение негативных последствий воздействия деятельности человека на окружающую среду, которые могут привести к ухудшению экологического состояния, и возможности образования непосредственных угроз для жизни и здоровья граждан государства. Таким образом, механизм обеспечения экологической безопасности вбирает в себя широкий диапазон действий, значительная роль в которых должна быть отведена государству.

Одним из главных аспектов при обеспечении вопросов экологической безопасности является формирование четкой экологической политики государства, которая должна находить свое отражение в законодательстве страны. Главной особенностью действующего законодательства Таджикистана в данном вопросе является то, что в Конституции страны заложены ключевые аспекты, на основе которых формируется государственная политика в вопросах защиты окружающей среды. (Статья 44). Дальнейшее регулирование вопросов

экологической безопасности осуществляется в экологическом законодательстве страны, которое характеризуется наличием довольно широкого круга законов, регламентирующих отношения по обеспечению экологической безопасности и формирующих правовую основу деятельности различных субъектов в области обеспечения экологической безопасности.

Анализ действующего экологического законодательства показывает, что оно направлено на решение двух важнейших вопросов, связанных с экологической безопасностью. Во-первых, экологическая безопасность выступает в качестве условия защиты жизненно важных интересов государства, общества и личности от различного типа рисков, связанных как с природными, так и антропогенными воздействиями на них. Во-вторых, экологическая безопасность определяется как комплекс превентивных мер направленных на предотвращение экологических катастроф и негативного влияния человека на природу.

Подводя итог изложенному следует отметить, что в Республике Таджикистан вопросу обеспечения экологической безопасности уделяется повышенное внимание. Этот факт подтверждается наличием четко сформулированной государственной политики, которое находит свое отражение в действующем законодательстве страны. При этом, реальное обеспечение экологической безопасности зависит и от самого человека, который должен осознавать, что именно от его действий зачастую зависит состояние окружающей природной среды.

### Литература

1. Послание Президента Республики Таджикистан уважаемого Эмомали Рахмона «Об основных направлениях внутренней и внешней политики республики» от 23.12.2022. [Эл. ресурс]. Режим доступа: <http://prezident.tj/ru/node/29824>
2. Рахмон Д.С. Обеспечение экологической безопасности человечества находится в центре международных инициатив Президента Таджикистана в течение последних двадцати лет. [Эл. ресурс]. Режим доступа: [https://tajsotmon.tj/ru/news\\_ru/16761](https://tajsotmon.tj/ru/news_ru/16761)
3. Сафонова Ю. Д. Правовое обеспечение экологической безопасности в России // Контентус. 2017. №4. С. 7-14.
4. Тимофеев Г. А., Орлинская О.М. Экологическая безопасность в системе национальной безопасности Российской Федерации // Власть. 2017. № 2. – С.69-74.
5. Экологическое право России: учебное пособие для студентов вузов / [Н.В. Румянцев и др.]; под ред. Н.В. Румянцева. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ЮНИТИ-ДАНА, Закон и право, 2018. (Серия «Dura lex, sed lex»). – 431 с.
6. Алешкова А.А., Махмутов А.Р. Экологическая безопасность // Международный научный журнал «Вестник науки». № 1 (46). Т.3 Январь 2022 г. – С. 206-210.
7. Манлай А. Экологическая безопасность как фундаментальная составляющая национальной безопасности Монголии // Сетевое издание «Академическая мысль» № 4 (21) 2022. – С. 62-67.

УДК 007/004 502/504 556

## GLACIAL STREAM DAMAGE IN MOUNTAINOUS AREAS (SHUGNAN DISTRICT)

**Mirmastov J., Edgar W.**

*University of Central Asia (Khorog, RT)*  
*javohir.mirmastov\_2024@ucentralasia.org*

**Annotation.** *Why the glacial stream count is important?*

*Methodology of using Remote Sensing in Data collection*

*GIS for data analysis*

*Flood analysis with ArcGIS*

*Melt Streams collection with HEC-HMS*

*Flow-danger locations using R-studio (R programing language)*

*What are the results of resulting data application?*

**Keywords:** *Digital Image Processing, Debris flows, Streams collection to junk.*

## ПОВРЕЖДЕНИЕ ЛЕДНИКОВЫХ ПОТОКОВ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ (ШУГНАНСКИЙ РАЙОН)

**Мирмастов Дж., Эдгар В.**

*Университет Центральной Азии (г. Хорог, РТ)*

**Аннотация.** *Почему важен подсчет ледниковых потоков?*

*Методология использования дистанционного зондирования при сборе данных*

*ГИС для анализа данных*

*Анализ наводнений с помощью ArcGIS*

*Коллекция Melt Streams с HEC-HMS*

*Места с опасностью протекания с использованием R-studio (язык программирования R)*

*Каковы результаты применения полученных данных?*

**Ключевые слова:** *цифровая обработка изображений, селевые потоки, сбор потоков в мусор.*

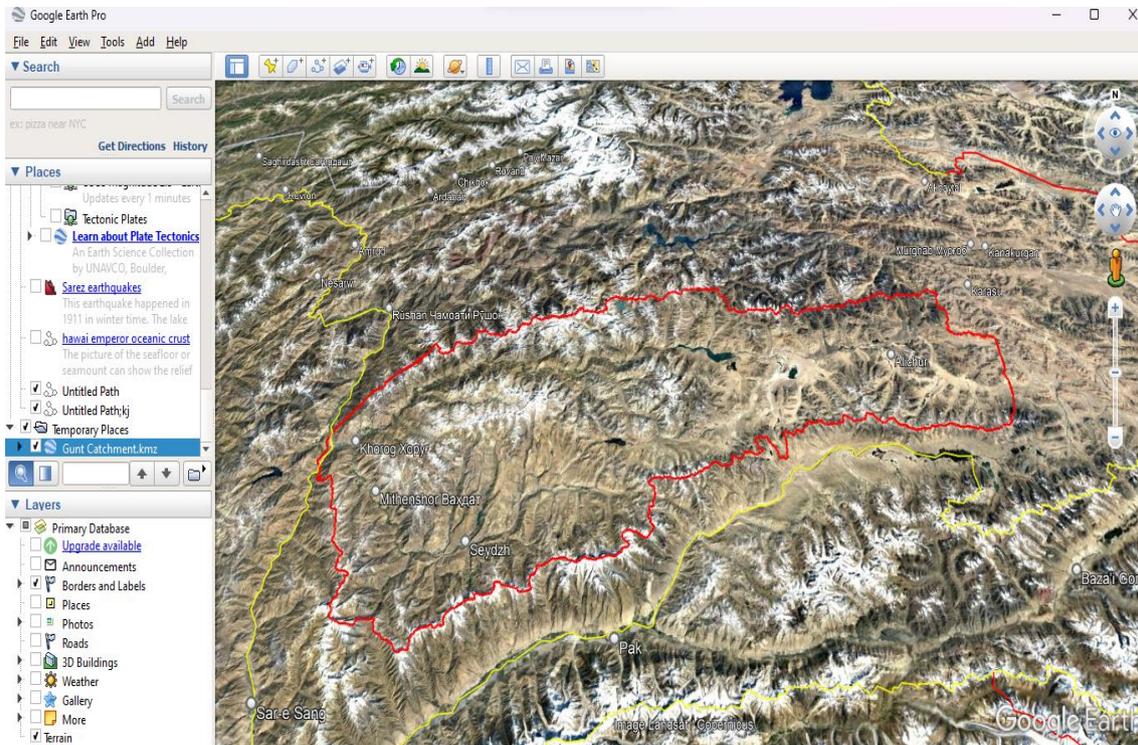
### **Introduction**

Glaciers are formed due to continuous low temperature and snow in high elevation where in long-term glaciers are formed. Glaciers are crucial structures of mountainous areas, affecting mountainous societies' life both positively and negatively. Considering positive effects such as summer glacier melt becoming source of freshwater for remote areas where access of water is limited. Although glaciers help in terms of water access to remote regions, due to climate changes and uncontrolled melt of glaciers huge streams of melting cause natural disasters due to which local mountainous societies suffer. For example, continuous melting of permafrost causing rapid mudflows that

easily collapses houses of local communities and later cutting the streams of rivers due to which villages get flooded and land goes under water.

To navigate the damages that can be caused by glacier melt there are 3 unique programs that this paper illustrates.

Area: Shugnan water stream collection (fig. 1)



**Fig. 1.** Shugnan water stream collection

First, it is important to collect the navigation of all water streams from mountains and glaciers, to identify rapid increase of water level that can cause flooding in nearby river areas. Collecting data about precipitation, discharge and shrinkage of glacier during summer, and specific area that can be affected by increase and decrease of temperature in specified area.

Data about temperature, precipitation and details of the glacier could be easily found in open sources such as Diva-gis (<http://diva-gis.org/gdata>) or USGS (<https://ers.cr.usgs.gov/>).

Later using Machine Learning data can be visualized and manipulated. Open-source applications such as QGIS and ArcGIS help to analyze the special data and remove errors from satellite data.

For this specific case (calculating discharge) we need HEC-HMS program that can collect different data in one project.

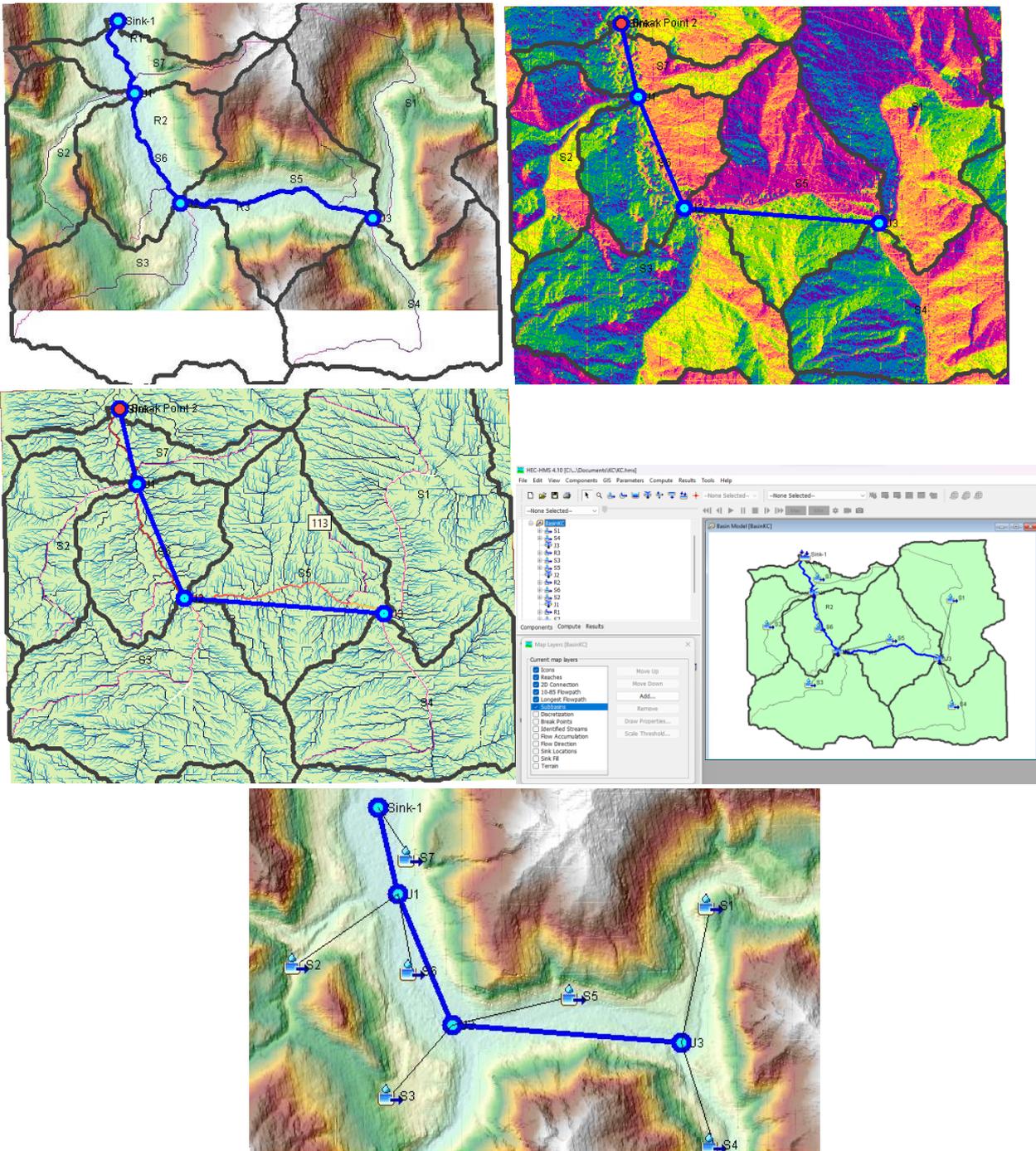


Fig 2,3. Clean elevation picture base on the platform HEC-HMS.

Fig 4,5. Connected and collected two or more streams.

Fig 6, 7. Areas, identify as endanger (risk) locations for natural disaster.

As shown in the figures above we firstly get a clean elevation picture add it to the platform HEC-HMS (fig 2, 3). Afterwards according to the mountain top our map gets divided into several collecting stream areas. Accordingly, we connect the streams into junctions where two or more streams are collected (fig 4, 5). Later we count the precipitation level and discharge level in every location according to the satellite data (fig 6). As a result, we find the discharge from every stream of the area and increase of

water level in specified junk which we identify as endanger (risk) locations for natural disaster. (fig 7)

To check accuracy of the data we use R programming (as best option for statistic data) to visualize our data in graphs and diagrams.

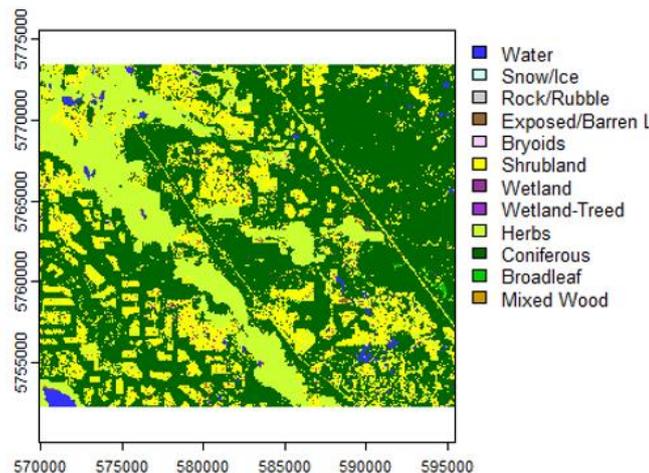
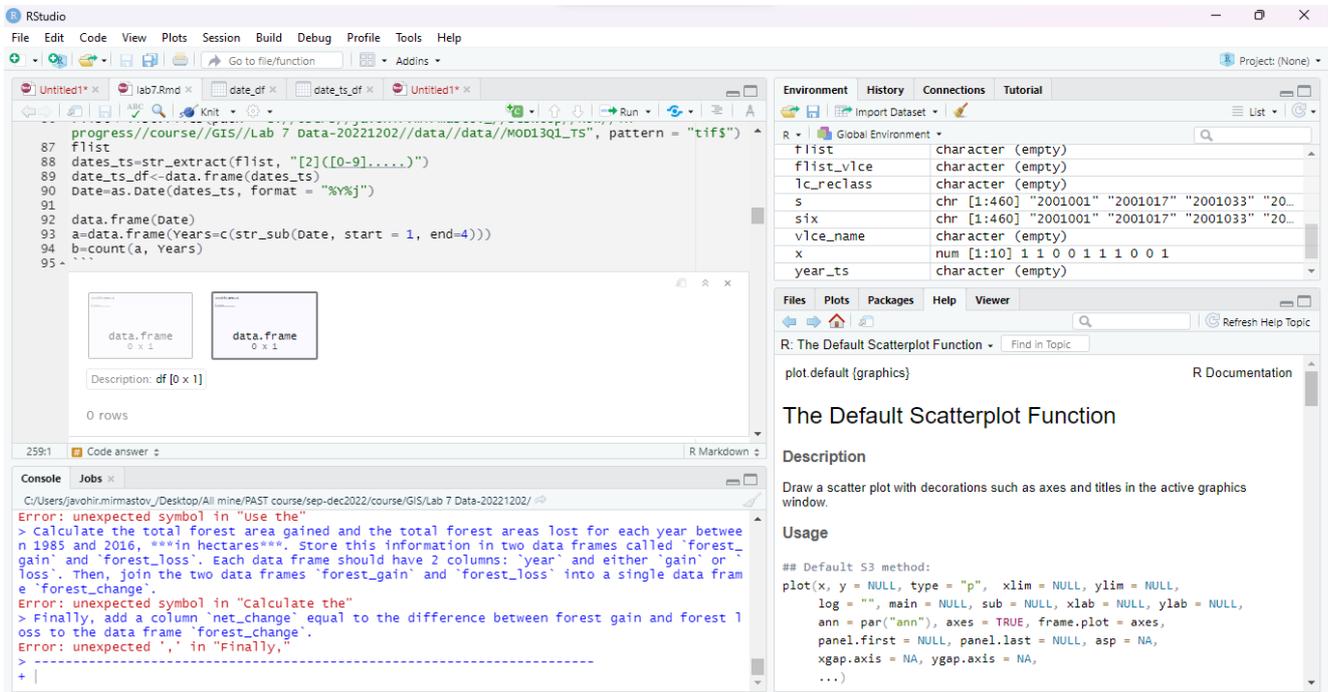


Fig. A)The precipitation level and discharge level in every location according to the satellite data  
 B) Dangerous areas for the development of natural disasters.

## Conclusion

The results identify the highest risk zones and households in covered areas need to be notified and prepared for different natural disaster cases.

Such natural disasters are well observed by local communities for ages. Floods, mudflows and avalanches as part of glacial process destroy roads that are highly important for product transportation between cities and countries and from governmental stability perspective are highly valued. Additional part of glacial process

is continuous conservation of snow causing huge avalanches that also damage life-important structures: houses, roads, electricity shells, and even network connection. As a result, the areas covering the flow stream are counted automatically as risk-zones due to the reason that the same area is covered by snow during the winter. Due to this reason snow avalanches at hill slopes have high potential of danger.

#### Reference

1. ArcGIS book ESRI: Digital Image Processing (p. 60-118)  
Source: <https://downloads.esri.com/esripress/PDFs/The-ArcGIS-Book-second-edition.pdf>.
2. HEC-HMS data manipulation: discharge and stream collection.  
Source: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/latest>
3. Hadley W. (2020) Data Analysis ggplot: graphical visualization (p. 210-332)  
Stream data collection and big data to graph.

УДК 504.7.; 629.039.58(575.3)

### ВАРИАЦИЯ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРЕ ГОРОДА ДУШАНБЕ

Иматшоева Н.Д.<sup>1</sup>, Маслов В.А.<sup>2</sup>, Абдуллаев С.Ф.<sup>2</sup>

*Таджикский национальный университет<sup>1</sup>, (г. Душанбе, РТ)*

*Физико-технический институт имени С.У. Умарова*

*Национальной академии наук Таджикистана<sup>2</sup> (г. Душанбе, РТ)*

*Аннотация.* В статье представлена временная динамика изменения концентрации черного углерода (BC) и вклад сжигания биомассы (BB) за 25.12.2022г. Измерение проводилось с помощью аэталометра Aethalometer (Magee Sci., Inc., USA, Model AE-33) в полигоне лаборатории физики атмосферы ФТИ им. С.У. Умарова НАНТ. Максимальные значения BC имеются в утренние часы, в середине дня и вечером, что, возможно, связано с вкладом сжигания твердого топлива, где максимальное значение зарегистрировано в вечернее время 132.49 мкг/м<sup>3</sup> при этом минимальное значения составляет 0/338 мкг/м<sup>3</sup>. Среднее значение концентрации составляет 3.24±0.08 мкг/м<sup>3</sup>

*Ключевые слова:* черный углерод, сажка, сжигание биомассы, пылевое вторжение, полурядная зона, коэффициент корреляции.

### VARIATION OF BLACK CARBON IN THE ATMOSPHERE OF DUSHANBE CITY

Imatshoeva N.D.<sup>1</sup>, Maslov V.A.<sup>2</sup>, Abdullaev S.F.<sup>2</sup>

*Tajik National University<sup>1</sup> (Dushanbe, RT)*

*Physical-Technical Institute. S.U. Umarova National  
Academy of Sciences of Tajikistan<sup>2</sup> (Dushanbe, RT)*

*Annotation.* The article presents the time dynamics of changes in the concentration of black carbon (BC) and the contribution of biomass burning (BB) for 25. 12.2022. The measurement was carried

out using an Aethalometer (Magee Sci., Inc., USA, Model AE-33) in Atmospheric Physics Laboratory Polygon of the S.U. Umarov Physical technical Institute of the NAST. The maximum values of BC are registered in the morning, in the middle of the day and in the evening, which is possibly due to the contribution of solid fuel combustion, where the maximum value was recorded in the evening  $132.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , while the minimum value was  $0.338 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . The average concentration value was  $3.24 \pm 0.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Keywords:** black carbon, soot, biomass burning, dust intrusion, semi-arid zone, correlation coefficient

Все атмосферные аэрозоли рассеивают поступающее солнечное излучение, а некоторые типы аэрозолей также сильно поглощают солнечное излучение. Черный углерод (BC - Black carbon) является наиболее важным из последних, но минеральная пыль и некоторые компоненты органического карбона (OC) также являются поглотителями солнечного света. Аэрозоли, которые, в основном, рассеивают солнечное излучение, обладают охлаждающим эффектом, усиливая общее, отраженное от Земли солнечное излучение. Сильно поглощающие аэрозоли обладают согревающим действием. В атмосфере присутствует смесь рассеивающих и поглощающих аэрозолей, и их суммарное влияние на энергетический баланс Земли зависит от характеристик поверхности и облаков. Наиболее эффективно рассеивание аэрозолей над темной поверхностью и поглощение аэрозолей над яркой поверхностью. Рассеивание (поглощение) аэрозоля над светлой (темной) поверхностью менее эффективно, так как солнечная радиация все равно отражается (поглощается). Поглощающие аэрозоли особенно эффективны при расположении над облаками, которые вносят основной вклад в полное отражение солнечной радиации обратно в космос. Аэрозоли жизненно важны для образования облаков, поскольку некоторые из них могут служить ядрами конденсации облаков (CCN) и ядрами льда (IN). Увеличение количества аэрозолей может увеличить концентрацию числа CCN и привести к большему количеству облачных капель при фиксированном содержании жидкой воды. Это увеличивает альбедо облака, что приводит к усилению отражения и охлаждающему эффекту, называемому эффектом альбедо облака [1]. Более мелкие капли требуют более длительного времени роста, чтобы достичь размеров, при которых они легко выпадают в виде осадков. Этот эффект, называемый эффектом продолжительности жизни облака, может усиливать облачный покров и, таким образом, вызывать дополнительный охлаждающий эффект [2]. Однако жизненные циклы облаков контролируются тесной взаимосвязью между метеорологическими условиями и микрофизикой аэрозолей и облаков, включая сложные процессы обратной связи, поэтому трудно выявить традиционный эффект продолжительности жизни, описанный в наборах данных наблюдений [2].

Поглощающие аэрозоли также могут изменять свойства облаков, не действуя непосредственно как CCN и IN, за счет:

1. нагревания окружающего их воздуха при уменьшении количества солнечного излучения, достигающего земли, что стабилизирует атмосферу, уменьшая конвекцию и возможность образования облаков;

2. повышения температуры атмосферы, что снижает относительную влажность, препятствует образованию облаков и усиливает испарение существующих облаков.

В совокупности это называется полупрямым аэрозольным эффектом [3]. Чистый эффект сложен в наблюдении и сильно зависит от вертикального профиля черного углерода [4].

Кроме того, ВС и другие поглощающие аэрозоли, осевшие на поверхности снега или льда, могут уменьшить альбедо поверхности, что приведет к снижению коэффициента отражения солнечного излучения и, следовательно, к эффекту нагрева атмосферы [5].

Радиационное воздействие (РВ) часто используется для количественной оценки и сравнения потенциального воздействия на климат различных аэрозольных эффектов. РВ определяется как изменение радиационного баланса Земли из-за возмущения антропогенного или природного происхождения. Общая плотность вероятности аэрозольного воздействия (ВАВ), в дополнение к отдельным аэрозольным компонентам, указывает как величины, так и неопределенность эффектов. Чем шире ВАВ, тем больше неопределенность. Объединение всех аэрозольных эффектов увеличивает неопределенность по сравнению с рассмотрением только прямого аэрозольного эффекта и эффекта альбедо облаков.

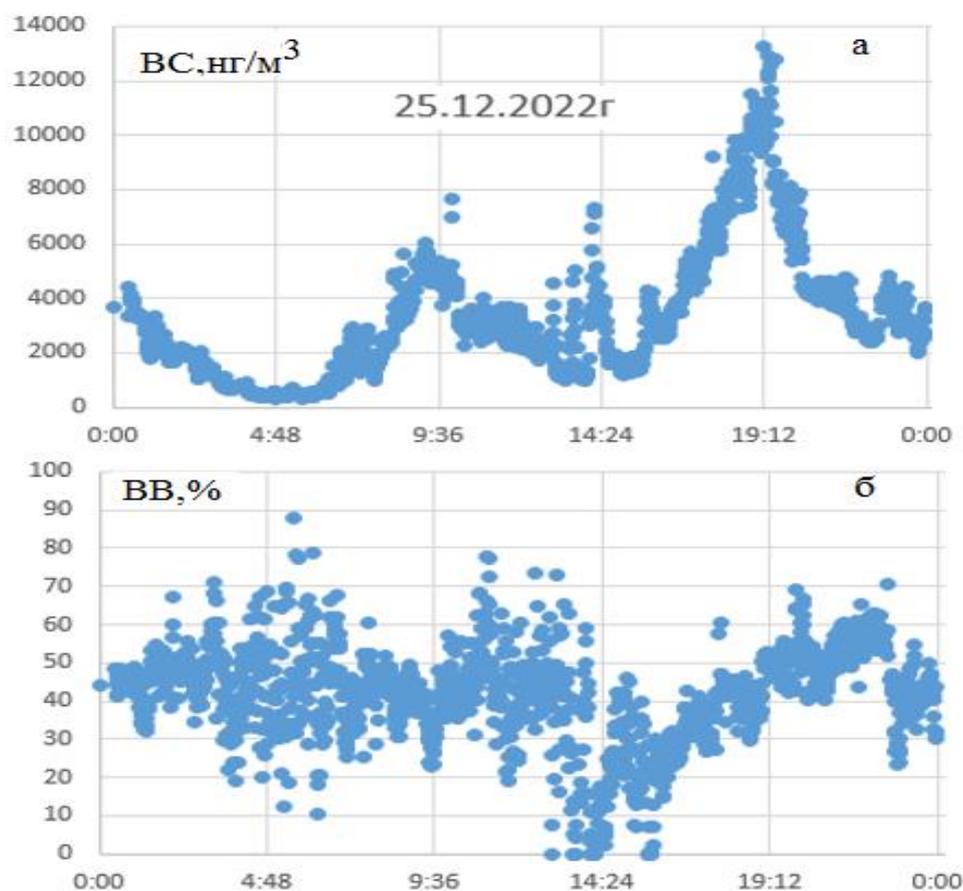
В Душанбе часто отмечается плохое качество воздуха, особенно во время эпизодов зимней дымки, когда концентрация PM<sub>2.5</sub> (твердые частицы диаметром <2.5 мкм) может достигать пика >400 мкг/м<sup>3</sup>. Черный углерод (ВС), аэрозоль, сильно поглощающий солнечную радиацию, может составлять до 10% PM<sub>2.5</sub> в г. Душанбе. ВС представляет интерес из-за его воздействия на климат и здоровье. Обнаружено также, что ВС влияет на метеорологию планетарного пограничного слоя (МППС). Взаимодействуя с излучением и изменяя тепловой профиль нижних слоев атмосферы, ВС может либо подавлять, либо усиливать развитие МППС в зависимости от свойств и высоты слоя ВС.

На рис.1, представлен временная динамика изменения концентрации ВС (а) и вклад сжигания биомассы ВВ(б) за 25.12.2022г. Измерение проводился с помощью аэталометра Aethalometer (Magee Sci., Inc., USA, Model AE-33) в полигоне лаборатории физики атмосферы ФТИ им. С.У. Умарова НАНТ.

Подобный Aethalometer использован в работах [6-10]. Как видно, в отличие от максимальных значений содержания ВС, наблюдаемых в утренние часы, в середине дня и вечером, вклад от сжигания твердого топлива имеет не столь выраженный дневной ход, составляя, в основном, около 40-60% от полного количества ВС. Максимальная концентрация ВС зарегистрирована в вечернее время – 132,49 мкг/м<sup>3</sup>, а минимальное значение составляет 0,338 мкг/м<sup>3</sup>. Средняя концентрация ВС составляет 3.24±0.08 мкг/м<sup>3</sup> (табл.1).

Корреляция между ВС и ВВ отрицательная с коэффициентом корреляции - 0.06, как видно при сравнении графиков а и б.

В табл.1 приведены статистические параметры изменений содержания сажи, полученные по всем семи используемым в аэталометре оптическим каналам 25.12.2022 г.



**Рисунок 1.** Временная динамика изменения концентрации ВС(а) и вклад сжигания биомассы (б) за 25.12.2022г.

Обычно среднедневной концентрацию обозначают  $LAC(\lambda)$ . Вклад в содержание сажи от горения биомассы считается значительным, при  $\Delta C / LAC(639) > 15\%$ , где  $\Delta C = LAC(405) - LAC(1050)$ . Расчет по данным табл.1 показывает, что за указанный день отношение составило 59%, то есть продуктов горения биомассы очень много. На фоне увеличения общего содержания сажи

по мере понижения температуры воздуха наблюдаются и резкие изменения измеряемых параметров, связанные, видимо с осадками, пылевыми вторжениями или же с быстрыми изменениями скорости ветра, уносящими сажевый аэрозоль в верхние слои атмосферы или за пределы города.

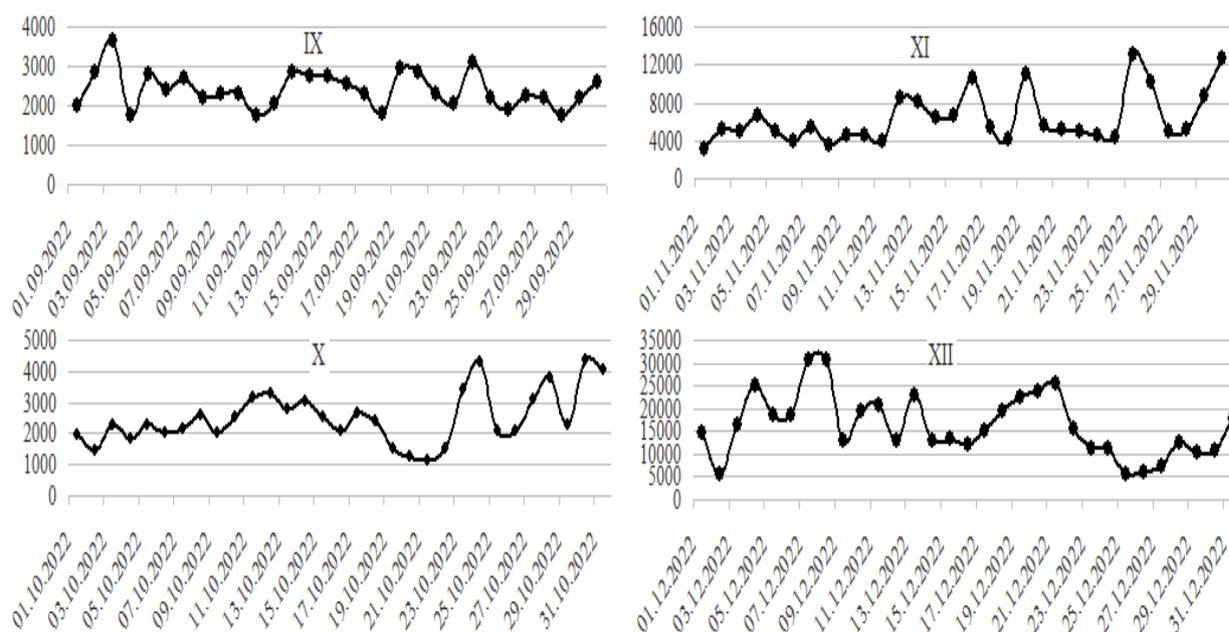
**Таблица 1.**

**Статистические параметры измерения концентрации ВС за 25.12.2022 г.**

25.12.2022	BC1	BC2	BC3	BC4	BC5	BC6	BC7
$\lambda^*$ , нм	405	465	525	639	870	940	1050
<C>	5465	4538	4005	3801	3534	3244	3205
C <sub>max</sub>	26784	19612	17028	15931	14700	13249	13011
C <sub>min</sub>	627	512	427	405	348	338	314
N	1392	1392	1392	1392	1392	1392	1392
t <sub>c</sub>	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
$\sigma$	2109	1846	1725	1674	1608	1528	1518
$\delta$	110,8	96,96	53,41	53,22	84,49	80,27	79,73
V	0,386	0,407	0,431	0,44	0,455	0,471	0,474
S <sub>n</sub>	0,02	0,021	0,013	0,014	0,024	0,025	0,025

*\*Примечание:*  $\lambda$ , - длина волны, нм; <C>- среднемесячная концентрация ВС [нг/м<sup>3</sup>]; C<sub>max</sub>- максимальная концентрация ВС [нг/м<sup>3</sup>]; C<sub>min</sub> -минимальная концентрация ВС [нг/м<sup>3</sup>]; N- количество репрезентативных измерений за месяц; t<sub>c</sub>-параметр Стьюдента;  $\sigma$  -среднеквадратичное отклонение;  $\delta$  -доверительный интервал; V- коэффициент вариации; и S<sub>n</sub>- погрешность.

На рис.2 представлены результаты мониторинга ВС в период с 1 сентября по 31 декабря 2022 г. Как видно с приближением холодного периода года происходит экспоненциальный рост концентрации ВС с высоким коэффициентом корреляции - 0.95 (рис.2), что свидетельствует об увеличении содержания сажи в атмосфере за счет сжигания твердого топлива.



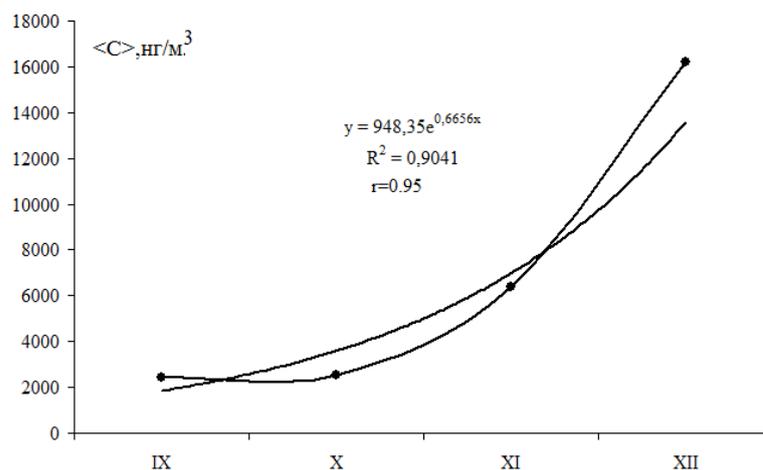
**Рисунок 2.** Вариация среднесуточного содержания ВС в г.Душанбе [нг/м<sup>3</sup>]

В табл.2 представлены статистические характеристики среднемесячных значений концентрации ВС в [нг/м<sup>3</sup>].

**Таблица 2.**  
**Статистические характеристики среднемесячных значений концентрации ВС**

Месяцы	Параметры							
	<C>	C <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	N	σ	δ	V	S <sub>n</sub>
IX	2406	210563	2	42780	1611	83	0,66	0,03
X	2520	275074	2	46190	1907	96	0,89	0,04
XI	6392	129710	36	42270	2368	122	0,39	0,02
XII	16224	200000	29	42780	3118	160	0,22	0,01

Результаты обработки базы данных указывают на дни с высокой концентрацией ВС: 03.09.2022 г. – 210.56 мкг/м<sup>3</sup> при средненежном значении 3.65 0.34 мкг/м<sup>3</sup>; 02.10.2022г. – 275.07 мкг/м<sup>3</sup> при средненежном значении 1.44 0.34 мкг/м<sup>3</sup>; 21.11.2022г. – 129.71 мкг/м<sup>3</sup> при средненежном значении 5.15 0.16 мкг/м<sup>3</sup>; 09.12.2022г. – 200.0 мкг/м<sup>3</sup> при средненежном значении 12.81 0.25 мкг/м<sup>3</sup>.



**Рисунок 3.** Динамика вариации среднемесячных концентраций ВС в г.Душанбе

Отметим, что в период ливневых осадков 19-20 октября 2022г. зарегистрирована низкая концентрация ВС: 19.10.2022г. –  $1.49 \pm 0.06$  мкг/м<sup>3</sup>; 20.10.2022г. –  $1.26 \pm 0.07$  мкг/м<sup>3</sup>; 21.10.2022г. –  $1.16 \pm 0.06$  мкг/м<sup>3</sup>, 22.10.2022г. –  $1.51 \pm 0.09$  мкг/м<sup>3</sup>.

### Литература

1. Twomey, S. Influence of pollution on shortwave albedo of clouds. / S. Twomey// - Journal of Atmospheric Sciences, 1977, v.34, pp.1149-115.
2. Albrecht, B. A. Aerosols, cloud microphysics, and fractional cloudiness. / B. A. Albrecht // - Science, 1989, v. 245, pp.1227-1230.
3. Hansen, J. et al. Radiative forcing and climate response / Hansen, J. et al. // - Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 1997, v.102, pp.6831-6864.
4. Koch, D. Black carbon semi-direct effects on cloud cover: review and synthesis. / D. Koch, A. D. Del Genio // - Atmospheric Chemistry and Physics, 2010, v.10, pp.7685-7696.
5. Hansen, J. Soot climate forcing via snow and ice albedos. / J. Hansen, L. Nazarenko // Proceedings of the National Academy of Sciences (USA), 2004, v.101, pp.423-428.
6. Rathody, T. D. Measurements of optical properties of black and brown carbon using multi-wavelength absorption technique at Mumbai, India / T. D. Rathody, S. K. Sahu // J. Earth Syst. Sci., 2022, v. 131, No. 1, doi: 10.1007/S12040-021-01774- 0/fulltext.html.
7. Xulu, N. A., Characterizing light-absorbing aerosols in a low-income settlement in South Africa / N. A. Xulu, S. J. Piketh, G. T. Feig, D. A. Lack, R. M. Garland, // Aerosol Air Qual. Res., 2020, v. 20, No.8, pp. 1812–1832, doi: 10.4209/AAQR.2019.09.0443.
8. Sateesh, M. Analysis of Absorption Characteristics and Source Apportionment of Carbonaceous Aerosol in Arid Region of Western India / M. Sateesh, V. K. Soni, P. V. S. Raju, y V. S. Prasad// Earth Syst. Environ., vol. 3, núm. 3, pp. 551–562, dic. 2019, doi: 10.1007/S41748-019-00122-Z/fulltext.html.
9. Nducol, N. Preliminary study of black carbon content in airborne particulate matters from an open site in the city of Yaoundé, Cameroon / N. Nducol, Y. F. T. Siaka, S. Y. Yakum-Ntaw, Saidou, J. D. Manga, y J. C. Vardamides // Environ. Monit. Assess., 2021, v.193, No. 3, doi:10.1007/S10661-021-08924-3/fulltext .html.
10. Adam M. G. Insights into characteristics of light absorbing carbonaceous aerosols over an urban location in Southeast Asia / M. G. Adam, A. W. J. Chiang, and R. Balasubramanian // Environ. Pollut., 2020. V. 257.

УДК 551.584.5

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТОКА РЕК ЧИРЧИК-АХАНГАРАНСКОГО БАССЕЙНА

**Карандаева Л.М., Карандаев С.В., Мягков С.С., Гулмурзаева Б.А.**

*Научно-исследовательский Гидрометеорологический институт*

*Узгидромета (г. Ташкент, РУзб)*

*karan.serg@rambler.ru*

*Аннотация.* Выполнен статистический и сравнительный анализ средних месячных расходов воды двух климатических периодов: базового и текущего. Информационной основой расчетов послужили ряды средних месячных расходов воды по данным гидрологических постов Чирчик-Ахангаранского речного бассейна. Выбрано 9 гидрологических постов с достаточно полными и длинными для проведения исследований рядами наблюдений.

*Ключевые слова:* Чирчик-Ахангаранский речной бассейн, гидрологический пост, средние месячные расходы воды, базовый климатический период, текущий климатический период.

## STATISTICAL AND COMPARATIVE ANALYSIS OF RIVER FLOW IN THE CHIRCHIK-AKHANGARAN BASIN

**Karandaeva L.M., Karandaev S.V., Myagkov S.S., Gulmurzaeva B.A.**

*Hydrometeorological Scientific Research Institute at Hydrometeorological Agency of the  
Republic of Uzbekistan (Tashkent, RUzb)*

*Annotation.* Statistical and comparative analysis of mean monthly water discharges were carried out for two climatic periods: basic and current. The information basis of the estimations was the series of mean monthly water discharges according to the data of hydrological gauges of the Chirchik-Akhangaran river basin. 9 hydrological gauges were selected with sufficiently complete and long-term observations for conducting research.

*Keywords:* Chirchik-Akhangaran river basin, hydrological gauge, mean monthly water discharges, basic climatic period, current climatic period.

### **Введение**

Народное хозяйство стран, расположенных на территории Средней Азии во многом зависит от водных ресурсов региона. Базовым сектором экономики Узбекистана является орошаемое земледелие. Свыше 60% населения Республики Узбекистан проживает в сельской местности и связано с сельским хозяйством. Орошаемое земледелие потребляет порядка 90% от общего объема воды, используемой в Республике. В концепции устойчивого развития Узбекистана отмечено: «Одной из стратегических целей устойчивого развития Узбекистана определяется рационализация и эффективное земле-и водопользование.». В связи с

вышесказанным в условиях изменения климата наблюдения за гидрологическими характеристиками рек приобретают особую актуальность и важность.

**Объектом исследований** данной работы выбран Чирчик-Ахангаранский речной бассейн, а предметом исследования – средние месячные расходы воды по данным гидрологических постов.

**Цель и задачи исследования.** Вопросам изучения [1-6], моделирования [7, 8] и прогнозирования [9-11] стока рек уделялось и уделяется большое внимание.

**Целью** исследования данной работы является выявление тенденций изменения во времени средних месячных расходов воды двух климатических периодов по данным гидрологических постов, расположенных на реках Чирчик-Ахангаранского бассейна. Для достижения цели исследования поставлены следующие **задачи**:

- выполнить статистический анализ и анализ линейных трендов временных рядов средних месячных расходов воды двух климатических периодов;
- выявить тенденции изменения во времени средних месячных расходов воды.

**Исходные данные.** Для проведения исследований, как показано в таблице 1, выбраны 9 гидрологических постов с достаточно длинными и полными многолетними рядами наблюдений.

**Основные результаты.** Анализ изменения средних месячных расходов воды выполнен на основе рассчитанных линейных трендов в рядах наблюдений. Для получения оценок современного изменения стока расчеты трендов выполнены для базового (1961-1990 гг.) и текущего (1991-2021 гг.) климатических периодов. Ниже, как пример, представлен график межгодового хода средних годовых расходов воды по данным р. Майдантал (гп. Устье) (рисунок 1).

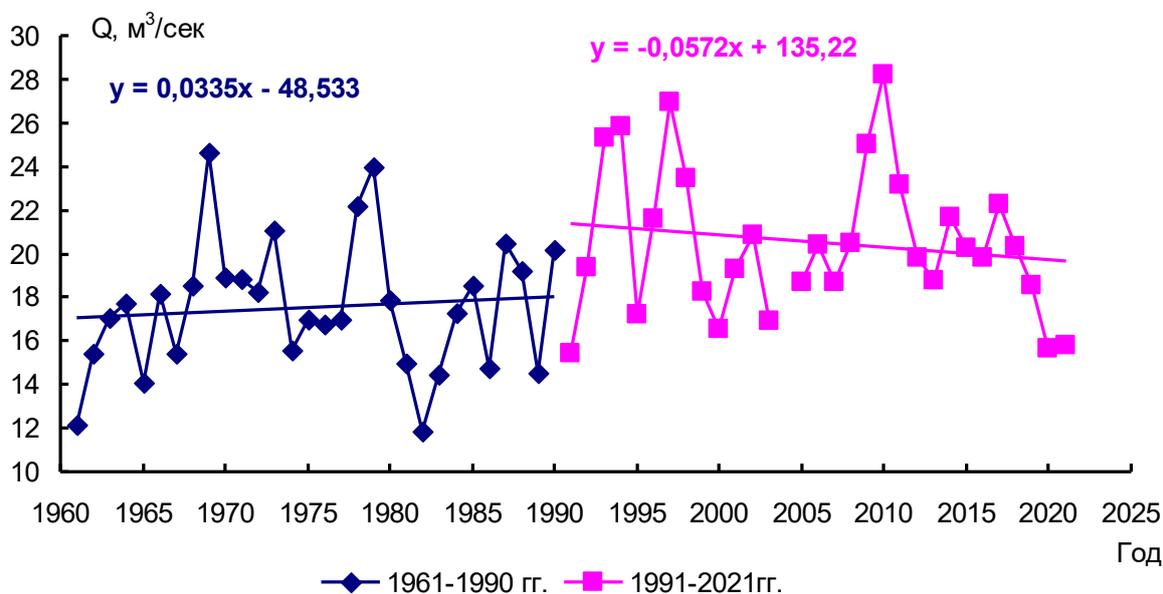
**Таблица 1.**

**Периоды наблюдений на гидрологических постах Чирчик-Ахангаранского речного бассейна**

№	Река (пост)	Период лет наблюдения
1	р. Акташсай (курорт Акташ)	1947-2021
2	р. Ахангаран (село Солдатское)	1964-2021
3	р. Ахангаран (устье реки Ирташ)	1970-2021
4	р. Майдантал (гп. Устье)	1935-2021
5	р. Пскем (село Муллала)	1932-2021
6	р. Угам (село Ходжикент)	1932-2021
7	р. Чаткал (выше устья реки Худойдодсай)	1932-2021
8	р. Чимгансай (курорт Чимган)	1963-2021
9	р. Янгикурган (курорт Янгикурган)	1971-2021

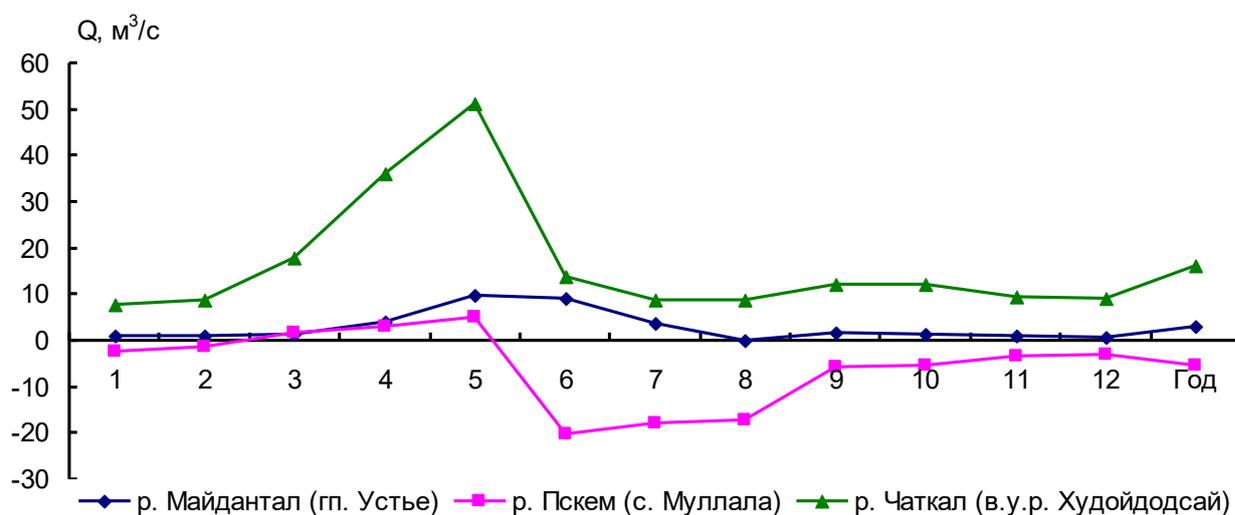
Как показал проведенный анализ в текущем климатическом периоде по данным р. Чаткал (в.у.р. Худойдодсай) наблюдается тенденция роста средних расходов воды за год, за весну и за теплый период (май-сентябрь).

По данным р. Майдантал (гп. Устье) наблюдается тенденция роста только средних за весну расходов воды. По данным остальных рассматриваемых гидрологических постов в текущем климатическом периоде наблюдается тенденция уменьшения средних расходов воды за год, за весну, за лето и за теплый период. Однако, средние за весну расходы воды текущего климатического периода возросли по сравнению с базовым периодом: р. Акташсай (к. Акташ) на  $0.02 \text{ м}^3/\text{с}$ , р. Ахангаран (с. Солдатское) на  $6.3 \text{ м}^3/\text{с}$ , р. Ахангаран (у.р. Ирташ) на  $8.5 \text{ м}^3/\text{с}$ , р. Майдантал (гп. Устье) на  $4.9 \text{ м}^3/\text{с}$ , р. Пскем (с. Муллала) на  $3.3 \text{ м}^3/\text{с}$ , р. Угам (с. Ходжикент) на  $7.5 \text{ м}^3/\text{с}$ , р. Чаткал (в.у.р. Худойдодсай) на  $35.0 \text{ м}^3/\text{с}$ , р. Чимгансай (к. Чимган) на  $0.001 \text{ м}^3/\text{с}$ , р. Янгикурган (к. Янгикурган) на  $0.07 \text{ м}^3/\text{с}$ .



**Рисунок 1.** Р. Майдантал (гп. Устье). Межгодовой ход средних годовых расходов воды двух климатических периодов: базового и текущего

На рисунке 2, как пример, представлен график разностей средних месячных и годовых расходов воды за 1991-2021 гг. относительно средних месячных расходов воды за 1961-1990 гг.

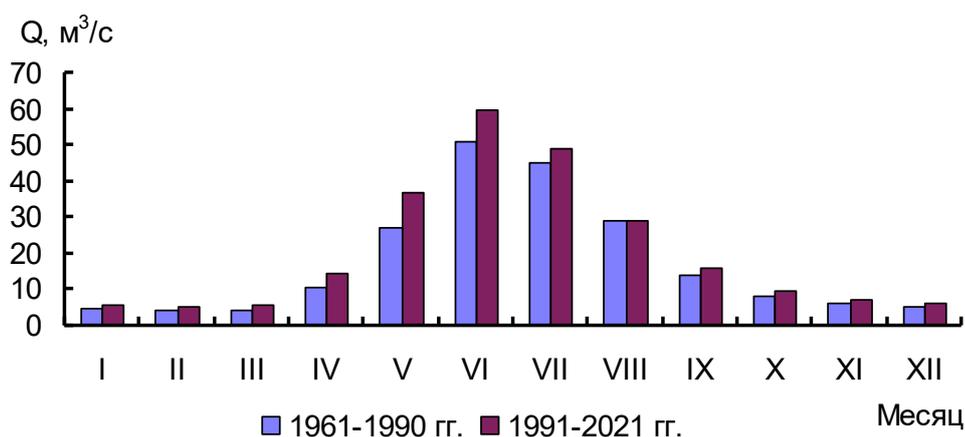


**Рисунок 2.** Разность средних месячных расходов воды за 1991-2021 гг. относительно климатической нормы (1961-1990 гг.)

Как следует из приведенного графика и аналогичных графиков, построенных по данным гидрологических постов, рассматриваемых в данной статье, в текущем климатическом периоде по сравнению с базовым периодом наблюдается:

- увеличение средних месячных расходов воды р. Майдантал (гп. Устье), в весенне-летние месяцы с апреля по июль, например, в мае на  $9.7 \text{ м}^3/\text{с}$  и в июне на  $9.1 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- увеличение средних месячных расходов воды р. Пскем (с. Муллала) в весенние месяцы: в марте на  $1.6 \text{ м}^3/\text{с}$ , в апреле на  $3.2 \text{ м}^3/\text{с}$ , в мае на  $5.1 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- уменьшение средних месячных расходов воды р. Пскем (с. Муллала) осенью, зимой и летом, например, в июне на  $20.2 \text{ м}^3/\text{с}$ , в июле на  $17.9 \text{ м}^3/\text{с}$ , в августе на  $17.2 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- увеличение средних месячных расходов воды рек: Чаткал (в.у.р. Худойдодсай), Угам (с. Ходжикент), Ахангаран (у.р. Ирташ) не только в весенние и летние месяцы, но и в зимние, и осенние месяцы;
- уменьшение средних месячных расходов воды р. Ахангаран (с. Солдатское) в сентябре и октябре и увеличение в остальные месяцы года;
- уменьшение средних месячных расходов воды р. Акташ (к. Акташ) с апреля по август и в октябре;
- уменьшение средних месячных расходов воды р. Чимгансай (к. Чимган), начиная с апреля по июль включительно;
- уменьшение средних месячных расходов воды р. Янгикурган (к. Янгикурган) в апреле и в летне-осенний период с июня по октябрь.

Внутригодовое изменение осредненных за базовый и текущий климатические периоды средних месячных расходов воды по данным р. Майдантал (гп. Устье) представлено на рисунке 3.



**Рисунок 3.** Средние месячные расходы воды р. Майдантал (гп. Устье) двух климатических периодов: базового и текущего

Как выяснилось, осредненные за базовый и текущий климатические периоды средние месячные расходы воды достигают своего наибольшего значения в апреле: р. Ахангаран (с. Солдатское), р. Акташ (к. Акташ); в мае: р. Янгикурган (к. Янгикурган), р. Ахангаран (у.р. Ирташ), р. Угам (с. Ходжикент), р. Чимгансай (к. Чимган); в июне: р. Майдантал (гп. Устье), р. Пскем (с. Муллала) и р. Чаткал (в.у.р. Худойдодсай) вне зависимости от климатического периода.

**Заключение.** В текущем климатическом периоде по данным р. Чаткал (в.у.р. Худойдодсай) наблюдается тенденция роста средних расходов воды за год, за весну и за теплый период. По данным р. Майдантал (гп. Устье) наблюдается тенденция роста только средних за весну расходов воды. По данным остальных гидрологических постов в текущем климатическом периоде наблюдается тенденция уменьшения средних расходов воды за год, за весну, за лето и за теплый период. Однако средние за весну расходы воды текущего климатического периода возросли по сравнению с базовым периодом по данным всех рассматриваемых гидрологических постов.

### Литература

1. Шульц В.Л., Шалатова Л.И., Лукина Н.К., Видинеева Е.М. Гидрологическая характеристика верхней части бассейна Амударьи. – Ташкент: ФАН, 1975. – 122 с.
2. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан. – Ташкент: НИГМИ, 2007. – 132 с.
3. Иванов Ю.Н. Водные ресурсы бассейна реки Чирчик. // Труды НИГМИ. – 2007. – Вып. 8(253). – С. 64-84.
4. Хайдаров С.А. Оценка роли климатических факторов в формировании водных ресурсов рек бассейна Зеравшана: Автореферат доктора философии (PhD) по геогр. наукам: 11.00.03. – Т., 2018. – 42 с.
5. Хикматов Ф.Х. Закономерности формирования водных ресурсов горных рек в условиях изменения климата. – Ташкент, 2020. – 228 с.

6. Ширинбоев Д.Н. Изменение гидрологического режима реки Зеравшан под влиянием антропогенных факторов: Автореферат доктора философии (PhD) по геогр. наукам: 11.00.03. – Т., 2021. – 45 с.
7. Боровикова Л.Н., Денисов Ю.М., Трофимова Е.Б., Шенцис И.Д. Математическое моделирование процесса стока горных рек // Труды САНИГМИ. – 1972. – Вып. 81(76). – 152 с.
8. Денисов Ю.М., Агальцева Н.А., Пак А.В. Усовершенствованный подход к построению математической модели формирования стока горных рек // Международная научно-практическая конференция Инновация – 2008, 24-25 октября 2008. Ташкент, 2008. – С. 313-314.
9. Агальцева Н.А., Пак А.В. Автоматизированные долгосрочные прогнозы стока горных рек Средней Азии // Вопросы кибернетики. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. – 1994. – Вып. 150. – С. 112-123.
10. Денисов Ю.М., Агальцева Н.А., Пак А.В. Автоматизированные методы прогноза стока горных рек Средней Азии. – Ташкент. САНИГМИ, 2000. – 160 с.
11. Карандаева Л.М. Оценки стока реки Вахш на отдельные месяцы вегетационного периода // Труды НИГМИ. – 2007. – Вып. 8(253). – С. 38-47.

УДК 556.5, 550.3

## **СОСТОЯНИЕ КАСКАДА ПРОРЫВНЫХ ЛЕДНИКОВЫХ ОЗЁР В РАЙОНЕ СТАНЦИИ НОВОЛАЗАРЕВСКАЯ (ОАЗИС ШИРМАХЕРА, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА) ПО ДАННЫМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ**

**Кашкевич М.П.<sup>1</sup>, Боронина А.С.<sup>1,2</sup>, Романова Н.Е.<sup>3</sup>**

*Санкт-Петербургский государственный университет<sup>1</sup>*

*(Санкт-Петербург, РФ)*

*Государственный гидрологический институт<sup>2</sup> (Санкт-Петербург, РФ)*

*ООО «ГеофизПоиск»<sup>3</sup> (Санкт-Петербург, РФ)*

*m.kashkevich@spbu.ru*

***Аннотация.** Озёра антарктических оазисов, отделенные друг от друга снежно-ледовыми плотинами, нередко формируют целые каскады и характеризуются прорывоопасностью. Каскад озёр Ледяное – Южное – Станционное, расположенный вблизи российской антарктической станции Новолазаревская (оазис Ширмахера, Восточная Антарктида), является типичным представителем системы прорывоопасных озёр и может рассматриваться как эталонный объект. Близость указанных водных объектов к станции и расположение трассы на одной из снежно-ледовых перемычек обуславливают необходимость их мониторинга. В статье показана эффективность георадиолокации для получения морфометрических характеристик приледниковых озёр, изучения внутреннего строения снежно-ледовых плотин и оценки возможных сценариев прорывов озёр.*

***Ключевые слова:** георадарное профилирование, снежно-ледовые плотины, прорывные паводки, оазис Ширмахера, Восточная Антарктида.*

# THE CONDITION OF THE CASCADE OF OUTBURST GLACIAL LAKES IN THE AREA OF NOVOLAZAREVSKAYA STATION (SCHIRMACHER OASIS, EAST ANTARCTICA) ACCORDING TO GROUND-PENETRATING RADAR DATA

St. Petersburg State University<sup>1</sup> (St. Petersburg, RF)

State Hydrological Institute<sup>2</sup> (St. Petersburg, RF)

ООО «GeophysPoisk»<sup>3</sup> (St. Petersburg, RF)

***Annotation.** The lakes of the Antarctic oases, separated from each other by snow-ice dams, often form cascades which are characterized by an outburst hazard. The cascade of lakes Ledyanoe – Yuzhnoye – Stationnoye, located near the Russian Antarctic Novolazarevskaya Station (Schirmacher oasis, East Antarctica), is typical of the system of outburst lakes and can be considered a model object. The proximity of these lakes to the station and the location of the track on one of the snow-ice dams necessitate their monitoring. The article shows the effectiveness of the ground-penetrating radar (GPR) for obtaining morphometric characteristics of near-glacial lakes, studying the internal structure of snow-ice dams and assessing possible scenarios of lake outbursts.*

***Keywords:** ground-penetrating radar, snow-ice dams, outburst floods, Schirmacher Oasis, East Antarctica.*

Антарктические оазисы - участки суши, не покрытые льдом и характеризующиеся развитой гидрографической сетью, все больше привлекают внимание исследователей. С практической точки зрения они удобны для организации круглогодичных полярных станций, сезонных баз и лагерей, с научной – востребованы для изучения различных природных объектов и явлений *in situ* для решения фундаментальных проблем истории развития региона, вопросов изменения климата и прочее.

Характерной чертой оазисов является наличие в их пределах непромерзающих озёр. Будучи подпруженными снежно-ледовыми перемычками, они могут формировать целые каскады, склонные к прорывным паводкам в период антарктического лета [1]. Иногда такие явления имеют по истине катастрофические последствия, как в случае прорыва водоёма в западной части ледника Долк (оазис Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида) с последующим образованием крупного провала на месте действующей тогда трассы [2, 3]. В ряде других случаев подобное явление также может нанести существенный урон инфраструктуре станций и требует тщательного изучения.

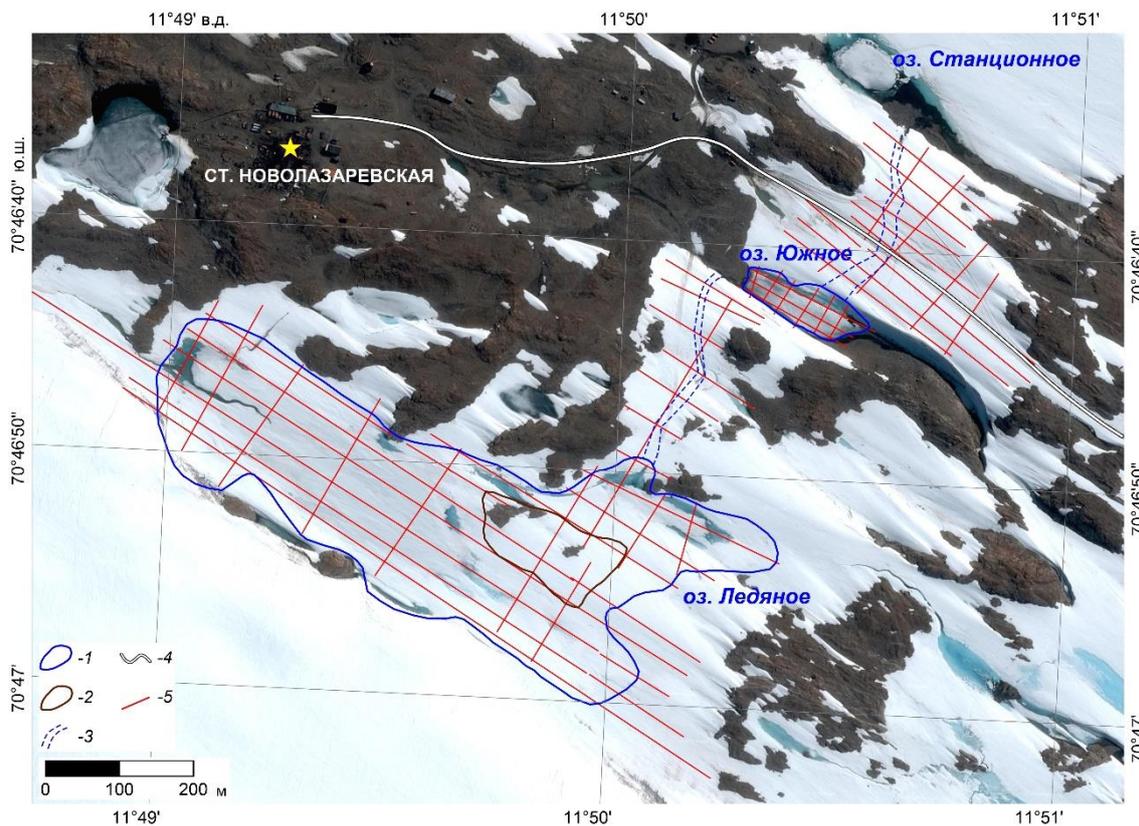
В сезон 67 РАЭ, с начала ноября по середину декабря 2021 г., в соответствии с утверждённым руководством РАЭ Программой работ, авторами выполнялись комплексные геофизические, буровые и геодезические работы на озёрах и ледниках оазиса Ширмахера в Восточной Антарктиде [4]. Актуальность исследования каскада озёр Ледяное – Южное – Станционное, расположенного вблизи российской антарктической станции Новолазаревская, обусловлена

обеспечением безопасности логистических операций: трасса, соединяющая её и аэродром, проходит по одной из снежно-ледовых перемычек каскада, а непосредственная близость озёр к станции приводит к необходимости мониторинга их состояния. Работы были направлены на решение следующих задач: 1) определение морфометрических характеристик озёр каскада; 2) изучение геоморфологических и гляциологических особенностей прилегающих территорий; 3) изучение внутреннего строения снежно-ледовых перемычек и оценка их прорывоопасности.

В качестве основного метода была выбрана *георадиолокация*, которая по праву признана одним из наиболее эффективных дистанционных методов изучения внутреннего строения ледника [5, 6, 7]. Георадарное профилирование выполнялось с использованием георадара ОКО-2 с экранированными антеннами АБ-150 и АБ-400 (частота зондирующих импульсов 150 МГц и 400 МГц соответственно). Перед началом работ на озёрах и гротах были выполнены предварительные опытно-методические работы, направленные на выбор оптимальных антенн и параметров съёмки для наиболее надёжного картирования исследуемых объектов. Георадарное профилирование осуществлялось по равномерной сети маршрутов. При изучении линейных структур (внутриледниковых каналов) - в крест их простирания. При этом, кроме рядовых маршрутов сети, обязательно выполнялись секущие для взаимной увязки данных. Плановая привязка осуществлялась с использованием спутникового приёмника GARMIN GPSmap 64st. Работы выполнялись пешим порядком. При использовании георадара ОКО-2 для определения расстояний и повышения точности привязки применялся одомер. Схема расположения работ представлена на рисунке 1.

На перемычке между озёрами Южное и Станционное дополнительно выполнены работы методом общей глубинной точки (ОГТ) с использованием раздвижных генераторной и приемной антенн для получения годографа ОГТ и определения скорости распространения электромагнитной волны в среде.

*Тахеометрическая съёмка* была проведена с использованием тахеометра Trimble M3 DR 5" для получения актуальной информации о рельефе района на момент выполнения работ. Планово-высотная привязка осуществлялась к пунктам государственной геодезической сети. Погрешность тахеометрической съёмки составила первые сантиметры в плане и по высоте.



**Рисунок 1.** Каскад озёр Ледяное-Южное-Станционное

1- береговая линия озера; 2- остров; 3- внутриледниковые каналы; 4- действующая трасса; 5- георадарные маршруты.

*Шнековое бурение* выполнялось для заверки и дополнения результатов георадарного профилирования и осуществилось при помощи дрели-шурупверта Makita DDF45 1RFE 18 В, к которой присоединялись шнеки Kovacs длиной 1 м и диаметром 50 мм.

*Обработка данных* георадарной съёмки выполнялась по стандартной методике, включающей в себя коррекцию амплитуд, удаление «звона» (реверберации) и фильтрацию [8] с применением компьютерных пакетов Geoscan32 и Prizm v 2.60. Ввиду широкого диапазона изменения скоростей распространения электромагнитных волн в средах (лед, вода, воздух), для получения глубинных разрезов применялась послойная обработка. Для участков, где невозможно было однозначно определить, чем представлен разрез (лед или снежно-фирновая толща), дополнительно выполнялось определение диэлектрической проницаемости по дифрагированным волнам и годографу ОГТ. Для снега значение диэлектрической проницаемости составило 1,7, для льда по годографам дифрагированной волны и методом ОГТ соответственно, полученное значение составило 3.17 – 3.18 единиц. Отдельные точки были заверены бурением. Такой подход позволил более точно разделить области

распространения льда и фирна, правильно ввести значения скоростей и получить достоверное положение границ.

В ходе георадарной съёмки была опробована методика выявления и оконтуривания подледниковых озёр, предложенная в работе [9]. Она состоит в выделении на радарограммах трех критериев: 1) яркая, высокоамплитудная субгоризонтальная граница от раздела сред лед-вода; 2) наличие серии кратных волн, сформированных яркой границей лед-вода; 3) дифрагированные волны на точках георадарного разреза, отвечающих тройному сочленению лед-вода-горные породы. Методика показала себя крайне эффективной, позволяющей в полевых условиях при первичном анализе временных разрезов определить границы озера. Особенно такой подход актуален при картировании водных объектов, перекрытых материковым ледником. Поскольку в таких условиях определить границу озера визуально, по геоморфологическим или ландшафтным признакам не представляется возможным, георадиолокация представляется единственным надежным и экспрессным методом решения поставленной задачи.

По результатам выполненных работ были получены морфометрические характеристики озёр каскада, определены их площади и объёмы водной массы. Построены карты глубин и мощностей льда. Площадь акватории озера Ледяного составляет 149640 м<sup>2</sup>, а объём воды около 800410 м<sup>3</sup>. Его максимальные глубины зарегистрированы вблизи ледника и достигают 15.5 м. Площадь озера Южного составила 8120 м<sup>2</sup>, а объём воды около 5100 м<sup>3</sup>. На момент выполнения работ мощность водного слоя не превышала 2 м. Полученные данные легли в основу расчётов для моделирования сценариев прорывов указанных озёр через снежно-ледовые перемычки.

Георадиолокационные разрезы так же информативны при изучении строения снежно-ледовых перемычек. Их анализ позволяет выявить особенности их внутреннего строения, закартировать рельеф подстилающего скального основания, а также установить положение палеоканалов и гротов, выработанных потоками воды в толще льда. Интересной особенностью полученных радарограмм является наличие над осью канала снежного трога – вогнутой складки, представленной слоями фирна. Её наличие свидетельствует о возможных периодических обвалах кровли гротов в сезоны особо интенсивного таяния. Следует отметить, что похожие структуры уже наблюдались на георадарных разрезах, полученных на перемычках, преграждающих озёра Прогресс и Дискашн в оазисе Холмы Ларсеманн (Земля Принцессы Елизаветы, Восточная Антарктида) [10]. Там же наблюдались и обрушения кровли гротов в ходе прорыва озёр с последующим формированием каньона и заполнением его снегом в последующие, менее теплые сезоны.

Таким образом, в работе показаны возможности георадиолокации для экспрессного выявления и оконтуривания внутриледниковых и приледниковых озёр, получения их морфометрических характеристик, а также изучения геоморфологических особенностей прилегающих территорий. Анализ радарограмм совместно с натурными наблюдениями позволяет восстановить историю возникновения и развития внутриледниковых каналов, рассмотреть возможные сценарии прорывных паводков и их последствий.

#### Литература

1. Боронина А.С. Крупные прорывы озёр антарктических оазисов: обобщение современных знаний // Лёд и снег. 2022. Т. 62. № 1. С. 141–160.
2. Boronina A., Popov S., Pryakhina G., Chetverova A., Ryzhova E., Grigoreva S. Formation of a large ice depression on Dalk Glacier (Larsemann Hills, East Antarctica) caused by the rapid drainage of an englacial cavity // Journal of Glaciology. 2021. V. 67. No. 266. P. 1121–1136.
3. Попов С.В., Боронина А.С., Пряхина Г.В., Григорьева С.Д., Суханова А.А., Тюрин С.В. Прорывы ледниковых и подледниковых озёр в районе Холмов Ларсеманн (Восточная Антарктида) в 2017– 2018 гг. // Геориск. 2018. Т. XII. № 3. С. 56–67.
4. Попов С.В., Кашкевич М.П., Боронина А.С. Комплексные инженерные изыскания в оазисе Ширмахера (Земля Королевы Мод, Восточная Антарктида) в сезон 67-й РАЭ // Российские полярные исследования. 2022. Т. 47. № 1. С. 12–16.
5. Мачерет Ю.Я. Радиозондирование ледников. М.: Научный мир, 2006. 392 с.
6. Попов С.В., Поляков С.П. Георадарное лоцирование трещин в районе российских антарктических станций Прогресс и Мирный (Восточная Антарктида) в сезон 2014/15 года // Криосфера Земли. 2016. Т. XX. № 1. С. 90–98.
7. Попов С.В. Шесть десятилетий радиолокационных и сейсмических исследований в Антарктиде // Лёд и снег. 2021. Т. 61. № 4. С. 587–619.
8. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. М.: Изд-во МГУ, 2004. - 153 с.
9. Grigoreva S.D., Kuznetsova M.R., Kiniabaeva E.R. New data on Progress Lake (Larsemann Hills, East Antarctica): Recently discovered subglacial part of the basin // Polar Science. Special Issue: "Research Advances from Larsemann Hills, Antarctica: International Cooperation and Future Prospects" 8 pp. (In press), <https://doi.org/10.1016/j.polar.2023.100925>.
10. Григорьева С.Д., Киньябаева Э.Р., Кузнецова М.Р., Попов С.В., Кашкевич М.П. Строение снежно-ледовых перемычек прорывных озёр полуострова Брокнес (оазис Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида) по данным георадиолокации // Лёд и снег. 2021. Т. 61. № 2. С. 291–300.

УДК502.51; 502.55(575.3)

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРОБАХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И ПОЧВ МОРЕН ЛЕДНИКА ЯКАРЧА

Каюмов А.К.<sup>1</sup>, Абдуллаев С.Ф.<sup>2</sup>, Абдуллаева М.К.<sup>1</sup>, Каюмова Д.А.<sup>2</sup>

*Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников  
Национальной академии наук Таджикистана»<sup>1</sup>(г. Душанбе, РТ)  
Физико-технический институт имени С.У. Умарова Национальной  
академии наук Таджикистана<sup>2</sup> (г. Душанбе, РТ)  
abdkaumov@mail.ru*

***Аннотация.** Приведены результаты исследования по определению содержания тяжелых металлов (ТМ) в форме свободных элементов или оксидов в составе проб атмосферного аэрозоля и почв морен ледника Якарча. Анализ элементного состава проб методом рентгенофлуоресцентного анализа показал, что для проб по содержанию V, Cr, Ni, Co, и MnO превышение над ПДК не обнаружено. В составе проб не обнаружен свинец. Содержание цинка, мышьяка и титана в пробах ледника Якарча превышает ПДК от 1.19 до 8.91. Для исследуемых проб содержания V, Cr, MnO и Sr меньше чем Кларка. Дефицит по Кларку для мышьяка и кобальта обнаружена в пробах, отобранных на языке ледника Якарча. Содержания никеля, меди, цинка, железа и титана, отобранных у Якарча, больше чем Кларк. Возможно, скопление связано с миграцией указанных ТМ. Над ледником Якарча также обнаружено превышение содержания цинка в пробах атмосферных осадков на 89ppm, чем Кларк.*

***Ключевые слова:** элементный состав почв, тяжелые металлы, загрязнение, почва, аэрозоль, предельно допустимая концентрация.*

## CONTENT OF HEAVY METALS IN ATMOSPHERIC SEDIMENTAL SAMPLES AND SOILS OF YAKARCHA GLACIER

Kayumov A.K.<sup>1</sup>, Abdullaev S.F.<sup>2</sup>, Abdullaeva M.K.<sup>1</sup>, Kayumova D.A.<sup>1</sup>

*State Scientific Institution "Center for the Study of Glaciers of the  
National Academy of Sciences of Tajikistan "<sup>1</sup>(Dushanbe, RT)  
Umarov Physical-Technical Institute of  
National Academy of Sciences of Tajikistan <sup>2</sup>(Dushanbe, RT)*

***Annotation.** The results of a study to determine the content of heavy metals (HM) in the form of free elements or oxides in the composition of samples of atmospheric aerosol and soils of madder from the Yakarcha glacier are presented. Analysis of the elemental composition of the samples by X-ray fluorescence analysis showed that for the samples the content of V, Cr, Ni, Co, and MnO was not found to exceed the MPC. No lead was found in the samples. The content of zinc, arsenic and titanium in the samples from the Yakarcha glacier exceeds the MPC from 1.19 to 8.91. For the studied samples, the content of V, Cr, MnO and Sr is less than Clarke. Clarke deficiency for arsenic and cobalt was found in samples taken from the tongue of the Yakarcha glacier. The contents of nickel, copper, zinc, iron and titanium sampled from Yakarch are higher than those of Clark, which may be due to the migration of these HMs. Above the Yakarcha Glacier, an 89ppm excess of zinc in precipitation samples was also found than Clarke.*

***Keywords:** elemental composition of soils, heavy metals, pollution, soil, aerosol, maximum permissible concentration.*

Возможно, усиления таяния ледников Таджикистана связано с осаждением пылевого аэрозоля в результате пылевых вторжений с южной и центральной части страны. Перенос пыли в Таджикистан происходит в зоне пылевого пояса из крупных пустынь как Сахара, Аравийский полуостров, Иран (Дашти Кабир, Дашти Лут), Арал-Кум, Кызыл-Кум и Кара-Кум. Генерируемы в этих пустынях пыль особенно субмикронные фракции вторгаясь на территории страны осаждаются на поверхности ледников.

Пылевой аэрозоль содержит изотопы, ионы, химические соединения и различные химические элементы. В последние полвека резко возросла опасность ТМ в загрязнении атмосферы и почвы ледников [1-2]. Авторами [3] обнаружено доминирующая роль сухого осаждения аэрозолей в ледниках южного склона Эльбруса. В [4, 5] отмечается о просачивание, талых вод которое вымывает примеси в нижние части снежного покрова и в [6] обнаружено высокая концентрация ионов в начальных порциях талых весенних вод. Работы [7-9] посвящены изучению различных аспектов ледника Эльбрус, а в [10-13] исследованы содержания тяжелых металлов в составе льда Гренландии. Изучены содержания ТМ в ледовых кернах Восточного Памира (Muztagh Ata) [15], Шпицбергена [16], Итальянской восточной Альпы [17] и ледника Тибетского Плато [18]. В условиях глобального изменения климата, когда происходит интенсивная деградация ледников проблемы мониторинга тяжелых металлов в ледниках приобретают особую актуальность.

Целью работы являлось изучение содержания тяжелых металлов в атмосферных осадках и почв над ледниками Якарча (бассейна реки Варзоб).

Ледник Якарча расположен в бассейне Майхуры - правой составляющей р. Варзоб. С севера и запада бассейн ограничен Гиссарским хребтом, а с юга – его отрогом, хребтом Осман-тала. Якарча является карово-долинным ледником длиной 1,15км, площадью 0,54 кв. км, его средняя ширина 470метров, высота языка - 3880м н. ур. м. Такие маленькие ледники очень активно реагируют не только на изменение климата, но и на погоду одного сезона. Одна многоснежная зима может не только замедлить отступление ледника, но даже явиться причиной его наступления на несколько метров. С 1972 по 1977 гг. ледник Якарча отступил на 25м со средней скоростью отступления 5м/год. За 1983-1986 гг. он отступал в левой части со скоростью 2-4 м/год, в средней части 1-2 м/год. В настоящее время он отступает на 2-3м/год, при этом его поверхность оседает в среднем на 3м/год. Таким образом, ледник теряет массу, как за счет сокращения длины, так и за счет уменьшения толщины. Толщина ледника Якарча не более 50м, поэтому для него более опасно таяние с поверхности, чем отступление языка.

Сбор проб и методика измерения приведены в [19]. В табл.1 приведены описание и координаты проб, собранные в период сентябрь 2020г. во время экспедиции организованной Центром по изучения ледников НАНТ.

В табл.1 приведены описание и координаты проб, собранные в период сентябрь 2020г.во время экспедиции организованной Центром по изучения ледников НАНТ.

**Таблица 1.**

**Координаты проб исследованных образцов**

№	Название проб		дата	широта	долгота	Высота, м н.ур.м.
1	Верховья реки Варзоб (язык Якарча)	<b>ПЯЯ</b>	12.09.2020	38°59'12.48"	68°33'56.96"	3844
2	Верховья реки Варзоб (над ледником Якарча)	<b>ППЯ</b>	12.09.2020	38° 59'4.35"	68°33'51.24"	3909

В табл.2 приведены результаты измерения содержания ТМ в составе проб. Обнаружено высокое содержания стронция (120.71ppm) в составе проб атмосферных осадков над ледником Якарча.

**Таблица 2.**

**Содержания тяжелых металлов в составе проб [ppm]**

Место	V	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	MnO	As	TiO <sub>2</sub> (%)	Sr	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
ПЯЯ	<b>41,69</b>	63,85	49,05	<i>НПЧ</i>	<b>45,54</b>	118,57	<b>110,43</b>	5,31	0,34	114,73	5,59
ППЯ	25,04	<b>66,91</b>	<b>77,62</b>	<b>17,02</b>	44,16	<b>138,87</b>	92,77	<b>6,19</b>	<b>0,45</b>	<b>120,71</b>	<b>6,35</b>
Среднее	33,36	65,38	63,34	17,02	44,85	128,72	101,60	5,75	0,40	117,72	5,97
Максимум	41,69	66,91	77,62	17,02	45,54	138,87	110,43	6,19	0,45	120,71	6,35
Минимум	25,04	63,85	49,05	17,02	44,16	118,57	92,77	5,31	0,34	114,73	5,59
ПДК	100	100	100	25		100	150	2	0,05		
Кларк	100	150	40	8	20	50	850	6	0,46	300	3,8

*Примечание: НПЧ\* - концентрация ТМ ниже предела чувствительности спектрометра*

Максимальное значение Cr (66.91ppm), Ni(77.62ppm), Co(17.02ppm), Zn(138.87ppm), As(6.19ppm), TiO<sub>2</sub>(0.45%) и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(6.35%) обнаружена в атмосферных осадках над ледником Якарча. В почве языка ледника Якарча обнаружена высокое значение и V (41.69ppm), Cu(45.54ppm) MnO (110.43ppm). Над ледником и в языке Якарча свинец не обнаружено.

**Сравнение с кларком ТМ.** В табл.3 приведены разность содержания ТМ с Кларком данного ТМ. Отрицательно значения означает дефицит содержания ТМ а положительное значение означает что данный ТМ в составе проб больше, чем ее Кларк.

Для исследуемых проб содержания V, Cr, MnO и Sr меньше чем Кларка. Дефицит по Кларку для мышьяка и кобальта обнаружена в пробах, отобранных на языке ледника Якарча.

**Таблица 3.**

**Изменение среднего содержания тяжелых металлов от их Кларка в составе проб [ppm]**

Пробы	<C>-Кларк										
	V	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	MnO	As	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,(%)	TiO <sub>2</sub> ,(%)	Sr
ПЯЯ	-58	-86	9	-8	26	68.6	-740	-0.7	1.8	0.8	-185
ППЯ	-75	-83	38	9.0	24	88.9	-757	0.2	2.6	0.9	-179

Содержания никеля, меди, цинка железо и титана отобранный у Якарча больше чем Кларк, что возможно скопления связано с миграцией указанных ТМ. Над ледником Якарча также обнаружена превышения содержания цинка в пробах атмосферных осадков на 89ppm.

**Анализ сравнения с ПДК.** Во всех пробах содержания титана превышает ПДК в среднем на 8 раз (от 7.9 до 9.2 раза) (табл.4).

Для проб по содержанию V, Cr, Ni, Co, и MnO превышение над ПДК не обнаружено.

Содержания цинка, мышьяка и титана в пробах ледника Якарча превышает ПДК на 1.19 до 8.91.

Обратная траектория ВМ, вычисляемая по модели HYSPLIT (Hybrid single-particle lagrangian Integrated trajectory - гибридная одночастичная Лагранжева интегральная траектория), используется для исследования путей переноса аэрозоля (в том числе, частиц тяжелых металлов) к местам наблюдений [20].

На рис. 1а приведен пример расчета обратной траектории движения ВМ, вычисленной за 168ч (7 суток) на высоте 500, 1500 и 2500 м и закончившийся в Якарча в день максимального содержания мышьяка в пробах атмосферных осадков на поверхности ледника Якарча. Обнаружено, что в этом районе в основном преобладает западный и северный ветер. Используются следующие параметры: архив GDAS (Global Data Assimilation System). Начальная дата запуска (12.09.2020), координата точки 38° 59'4.35" с.ш., 68° 33'51.24" в.д., и высота 3909м над ур. м.(Якарча)

**Таблица 4.**

**Отношение среднего содержания тяжелых металлов к ПДК в составе проб.**

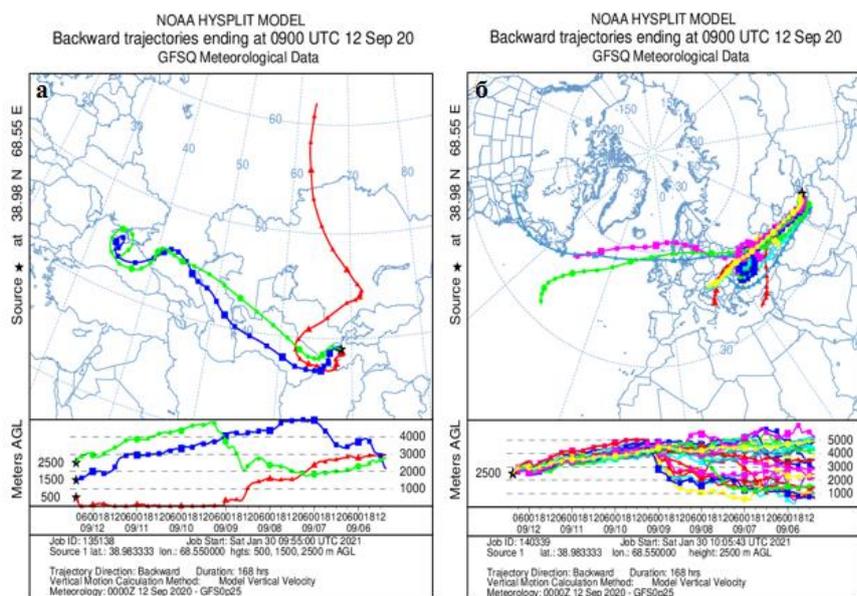
Проба	<C>/C <sub>ПДК</sub>								
	V	Cr	Ni	Co	Zn	MnO	As	TiO <sub>2</sub>	
ПЯЯ	0.42	0.64	0.49	0.00	<b>1.19</b>	0.74	<b>2.66</b>	<b>6.90</b>	
ППЯ	0.25	0.67	0.78	0.68	<b>1.39</b>	0.62	<b>3.10</b>	<b>8.91</b>	

Среднее	0.33	0.65	0.63	0.34	1.29	0.68	2.88	7.90
Максимум	0.42	0.67	0.78	0.68	1.39	0.74	3.10	8.91
Минимум	0.25	0.64	0.49	0.00	1.19	0.62	2.66	6.90

Для высоты над уровнем земли 2500 м. (рис.2.б) обратная траектория воздушных масс указывает также поступления воздушных потоков от северо-восточной части континента. При этом преобладают воздушные потоки от запада и севера (рис.1а). Для высот 500м над уровнем земли источник расположен в Свердловской области России (координате 57° 08' с.ш.,60° 68' в.д.). Для высот 1500м над уровнем земли источник расположен в Бурса Турции (по координате 40° 10' с.ш., 28° 56' в.д.) Для высот 2500м над уровнем земли источник расположен в южной части Черного моря (по координате 41° 28' с.ш., 39° 38' в.д.).

В табл.5 приведены расчет коэффициента корреляции между ТМ в исследованных пробах. Жирными обозначены значимая корреляция ( $r > 0.7$ ) между ТМ. Обнаружена очень высокая корреляция между цинком и никелем ( $r > 0.98$ ), между кобальтом и цинком ( $r > 0.97$ ), между кобальтом и хромом ( $r > 0.96$ ), между хромом и никелем ( $r > 0.94$ ), между кобальтом и никелем ( $r > 0.93$ ), что свидетельствует об их одинаковые природы происхождения и источника поступления.

На рис.3 представлен содержание ТМ в атмосферных аэрозольных осадках над ледниками и почвах языков ледников.



**Рисунок 1.** Обратная траектория воздушных масс за 168ч: *а* -для высот 500, 1500, 2500м над уровнем земли в точки сбора проб (Якарча); *б*. – обратная траектория для ансамбля (27 линий) для высоты 2500м над уровнем земли.

Аэрозольные частицы осаждавшие над ледниками обогащены теми ТМ, которые лежат выше прямой линии, и наоборот, концентрация тех ТМ, которые находятся ниже прямой, выше в почвах языков ледников. Во всех графиках коэффициент корреляции очень высок ( $r = 98$ ), что свидетельствуют о высокой линейной связи.

Таблица 5.

Коэффициент корреляции между ТМ в составе проб.

ТМ	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	MnO	As	TiO <sub>2</sub>	Sr	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pb
V	0.03	0.08	-0.14	-0.28	0.19	0.54	-0.6	-0.41	0.324	-0.07	0.3
Cr		<b>0.94</b>	<b>0.96</b>	-0.84	<b>0.89</b>	0.16	0.10	<b>0.87</b>	<b>0.74</b>	0.80	0.61
Ni			<b>0.93</b>	-0.89	<b>0.98</b>	0.32	-0.10	<b>0.82</b>	<b>0.82</b>	<b>0.89</b>	0.47
Co				-0.96	<b>0.97</b>	0.53	0.00	0.94	0.86	0.87	0.59
Cu					-0.92	-0.37	0.02	-0.64	-0.94	-0.76	-0.69
Zn						0.46	-0.04	<b>0.75</b>	<b>0.84</b>	<b>0.91</b>	0.49
MnO							0.58	-0.03	0.28	0.43	0.24
As								0.20	-0.02	0.11	-0.13
TiO <sub>2</sub>									0.55	0.83	0.28
Sr										0.65	0.65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>											0.19

Пылевые осадения на поверхности ледника более обогащены такими элементами как цинк, никель, железо и титан (рис.2).

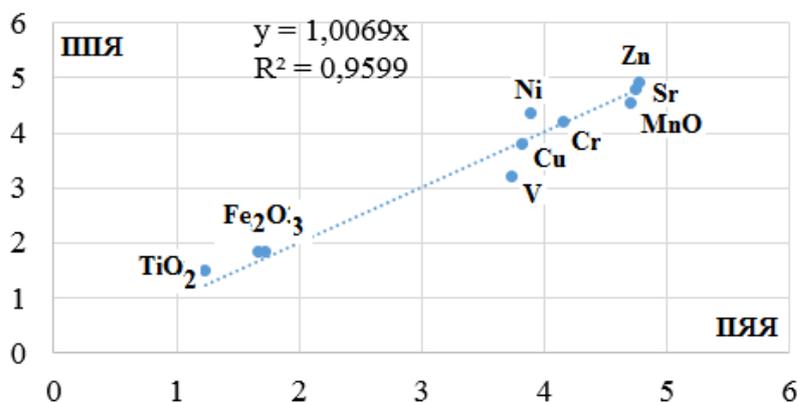


Рисунок 2. Содержание ТМ в атмосферных аэрозольных осадках (координата у) над поверхностью и в почвах языка (координата х) ледника Ягарча.

Почва языка Ягарча более обогащена такими элементами как MnO и V. Содержания стронция, хрома и меди почти имеют одинаковую концентрацию так как они расположены на прямой.

Резюмируя вышеизложенного необходимо отметить, что ледники Таджикистана работают как пылесос и осадения пыли на поверхности ледника в условиях частых пылевых вторжения приводит к ускоренному таянию ледников.

## Литература

1. Кутузов С.С., Михаленко В.Н., Шахгеданова М., Жино П., Козачек А.В., Лаврентьев И.И., Кудерина Т.М., Попов Г.В. Пути дальнего переноса пыли на ледники Кавказа и химический состав снега на Западном плато Эльбруса. *Лёд и Снег*. 2014;54(3):5-15. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2014-3-5-15>.
2. Чижова Ю.Н., Буданцева Н.А., Васильчук Ю.К. - Тяжелые металлы в ледниках Полярного Урала и Кавказа // *Арктика и Антарктика*. – 2017. – № 1. – С. 35 - 46. DOI: 10.7256/2453-8922.2017.1.22320
3. Рототаева О.В., Керимов А.М., Хмелевской И.Ф. Содержание макроэлементов в ледниках южного склона Эльбруса // *Материалы гляциологических исследований*. 1999. Вып. 87. С. 98-105.
4. Colbeck S.C., Anderson, E.A. The permeability of a melting snow cover // *Water Resources Research*. 1982. Vol. 18(4). P. 904-908.
5. Tranter M. Controls on the composition of snowmelt // In *Seasonal Snowpacks: Processes of Compositional Change*. 1991. Davies T.D., Tranter M, Jones HG (eds). Springer-Verlag: Berlin; 241-271.
6. Cragin J.H., McGilvary R. Can inorganic chemical species volatilize from snow? // *Biogeochemistry of Seasonal Snow-Covered Catchments (Proceedings of a Boulder Symposium, July 1995)*. IAHS Publication. 1995. No.228. P. 11-16.
7. Загороднов В.С., Архипов С.М., Бажев А.Б., Востокова Т.А., Королев П.А., Рототаева О.В., Синькевич С.А., Хмелевской И.Ф. Строение, состав и гидротермический режим ледника Гарабаши на Эльбрусе // *Материалы гляциологических исследований*. 1992. Вып. 73. С. 109-118.
8. Бажев А.Б., Рототаева О.В., Хмелевской И.Ф. Анализ полей элементов водно-ледового баланса ледников Эльбруса // *Материалы гляциологических исследований*. 1995. Вып.79. С.98-108.
9. Рототаева О.В., Хмелевской И.Ф., Бажев А.Б. и др. Строение и химический состав деятельного слоя ледника Большой Азау (Эльбрус) в области питания // *Материалы гляциологических исследований*. 1998. Вып. 84. С. 25-33.
10. Vazhev A.M., Rototaeva O., Heintzenberg J., Stenberg M., Pinglot J. F. Physical and chemical studies in the region of the southern slope of Mount Elbrus, Caucasus // *Journal of glaciology*. 1998. Vol. 44. No 147. P. 214-222.
11. Hong S., Candelone J-P., Turetta C., Boutron C.F. Changes in natural lead, copper, zinc and cadmium concentrations in central Greenland ice from 8250 to 140100 years ago: their association with changes and resultant variations of dominant source contributions // *Earth and Planetary Science Letters*. 1996. Vol. 143. No.1-4. P. 233-244.
12. Candelone J.-P., Jaffrezo J.-L., Hong S., Davidson C. I., Boutron C. F. Seasonal variations in heavy metals concentrations in present day Greenland snow // *The Science of the total Environment*. 1996. Vol. 193. P. 101-110.
13. Savarino J., Boutron C.F., Jaffrezo J.-L. Short-term variations of Pb, Cd, Zn and Cu in recent Greenland snow // *Atmospheric Environment*. 1994. Vol. 28A. P. 1731-1737.
14. Sherrell R. M., Boyle E. A., Harris N. R., Falkner K. K. Temporal variability of Cd, Pb, and Pb isotope deposition in central Greenland snow // *Geochemistry Geophysics Geosystems*. 2000. Vol. 1, N1. P. 1–22. 1002, doi:10.1029/1999GC000007
15. Li Y., Yao T., Wang N., Li Z., Tian L., Xu B., Wu G. Recent changes of atmospheric heavy metals in a high-elevation ice core from Muztagh Ata, east Pamirs: initial results // *Annals of Glaciology* 2006. Vol. 43 P.154-159
16. Drbal K., Elster J., Komhrek J. Heavy metals in water, ice and biological material from Spitsbergen, Svalbard. *Polar Research*. 1992. II (2). P. 99–101.
17. Gabrielli P., Cozzi G., Torcini S., Cescon P., Barbante C. Source and origin of atmospheric trace elements entrapped in winter snow of the Italian Eastern Alps // *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. 2006, 6 (5), P. 8781–8815.

18. Li Y., Shi X., NingLian Wang N., Pu J., Yao T. Concentration of trace elements and their sources in a snow pit from Yuzhu Peak, north-east Qinghai-Tibetan Plateau //Sciences in Cold and Arid Regions. 2011. Vol. 3(3). P. 216–222
19. Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А., Назаров Б.И., Мадвалиев У., Давлатшоев Т. Содержание элементов в пробах почв и пылевого аэрозоля в Таджикистане. - Оптика атмосферы и океана. 2015, т. 28, № 02, с. 143-152.
20. Draxler R. R., Taylor A.D. Horizontal dispersion parameters for long-range transport modeling. - Journal of Applied Meteorology, 1982, pp.367-372.

УДК 631.41

## **ОЦЕНКА БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В КРИОКОНИТАХ ЛЕДНИКОВ ПРИЭЛЬБРУСЬЯ И «БЕЗЕНГИЙСКОЙ СТЕНЫ», ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАВКАЗ**

**Кушнов И.Д.<sup>1</sup>, Абакумов Е.В.<sup>1</sup>, Темботов Р.Х.<sup>1,2</sup>**

**Санкт-Петербургский Государственный Университет<sup>1</sup>,  
(г. Санкт-Петербург, РФ)**

**Институт экологии горных территорий имени А.К. Темботова РАН<sup>2</sup>  
(г. Нальчик, РФ)**

*st084838@student.spbu.ru*

***Аннотация.** Криокониты – темноокрашенные органоминеральные отложения на поверхности ледников, способные ускорять их деградацию, отступление и влиять на смежные экосистемы горных территорий. Сообщества микроорганизмов в криоконитах и наличие соединений органического углерода играют важную роль в развитии приледниковых территорий путем их переноса с поверхности ледника с ветром и потоками талых вод. В данной работе были исследованы биохимические параметры криоконитов и морен: уровень базального дыхания (микробиологической активности) и содержания органического углерода на следующих ледниках Центрального Кавказа: Шхельда, Гарабаши, Малый Азау, Безенги. Результаты показали, что содержание органического углерода в криоконитах изменяется от 0.05 % на леднике Малый Азау до 1.41 % на леднике Гарабаши, что объясняется его непосредственной близостью к туристической инфраструктуре и антропогенным воздействием. Базальное дыхание изменяется от 6.60 мг СО<sub>2</sub>/100 г. в сутки на фоновом леднике Шхельда до 41.80 мг СО<sub>2</sub>/100 г. в сутки на леднике Гарабаши, что объясняется активным поступлением элементов питания от антропогенных источников. Кроме того, обнаружено, что в течение двух лет микробиологическая активность на леднике Гарабаши возросла. На леднике Безенги отмечается разница между изученными параметрами в криоконитах на поверхности льда и в «криоконитовых стаканах», что объясняется их меньшей подверженностью переносу вещества эоловыми и флювиогляциальными процессами.*

***Ключевые слова:** криоконит, ледник, базальное дыхание, органический углерод, Кавказ.*

# ASSESSMENT OF BIOGEOCHEMICAL INDICATORS IN CRYOCONITES FROM THE GLACIERS OF THE ELBRUS REGION AND THE "BEZENGLI WALL", THE CENTRAL CAUCASUS

Kushnov I.D.<sup>1</sup>, Abakumov E.V.<sup>1</sup>, Tembotov R.Kh.<sup>1,2</sup>  
St. Petersburg State University<sup>1</sup> (St. Petersburg, RF)  
Institute of Ecology of Mountainous Territories. A.K. Tembotov RAS<sup>2</sup>  
(Nalchik, RF)

**Annotation.** Cryoconites, the dark-coloured organomineral deposits on the surface of glaciers, have the potential to accelerate their retreat and affect mountain ecosystems. The microbial communities in cryoconites and organic carbon content play an important role in the development of glacial areas by their transport from the glacier surface with wind and meltwater flows. In this work, cryoconites and moraines were investigated for basal respiration (microbiological activity) and organic carbon content on the following glaciers in the Central Caucasus: Shkhelda, Garabashi, Maly Azau and Bezenghi. The results showed that organic carbon content varies from 0.05 % on Maly Azau Glacier to 1.41 % on Garabashi Glacier, which is explained by its proximity to tourist infrastructure and anthropogenic impact. Basal respiration varies from 6.60 mg CO<sub>2</sub>/100 g/day on the background Shkhelda glacier to 41.80 mg CO<sub>2</sub>/100 g/day on Garabashi glacier, which is explained by active supply of nutrients from anthropogenic activity. In addition, microbiological activity on the Garabashi glacier has been found to increase for two years of studies. On the Bezenghi glacier, there is a difference between the studied parameters in cryoconites on the ice surface and in "cryoconite holes", which is explained by their lower susceptibility to transfer by aeolian and fluvio-glacial processes.

**Keywords:** cryoconite, glacier, basal respiration, organic carbon, Caucasus.

Проблема глобального изменения окружающей среды в последние десятилетия стала одной из самых важных в научных исследованиях. Горные и полярные регионы считаются наиболее чувствительными как к антропогенному химическому загрязнению, так и к глобальному изменению окружающей среды в целом. Черный углерод играет важную роль в климатической системе благодаря своей способности поглощать солнечную радиацию и ускорять таяние льда и снежного покрова.

Несмотря на то, что черный углерод выбрасывается в атмосферу, он смешивается с пылью и оседая в горных территориях вместе с минеральным и органическим веществом образует специфическое отложение на поверхности ледников, которое называется криоконит. Они могут находиться на леднике в «криоконитовых стаканах», в трещинах или на поверхности. Криокониты не только ускоряют таяние ледников, но и влияют на углеродный цикл высокогорных территорий за счет аллохтонного поступления черного углерода. Органическое вещество криоконитов включает в себя остатки растений и животных, микроорганизмов, водорослей, а также другого биогенного материала [1]. Микробные сообщества криоконитов обладают значительной толерантностью к неблагоприятным факторам среды, их развитие и

последующий перенос в геохимически подчиненные ландшафты может ускорить развитие горных почв и повлиять на уязвимые горные экосистемы.

Кавказский горный хребет – один из известнейших горных регионов мира, где находятся высочайшие горные вершины, например, гора Эльбрус, а также «Безенгийская стена», включающая в себя несколько горных вершин высотой более пяти тысяч метров. Центральный Кавказ – наиболее высокогорная часть хребта, где находится множество горных ледников, в разной степени покрытые криоконитами, которые могут влиять на локальные экосистемы. Таким образом, важным является изучение содержания органического углерода и микробиологическая активность в криоконитах ледников Центрального Кавказа, особенно в условиях антропогенной нагрузки, а также сравнение показателей между изучаемыми ледниками и оценка их роли в горных экосистемах.

Исследуемые территории представлены несколькими ледниками в Приэльбрусье и ледником Безенги, который является крупнейшим долинным ледником Кавказа. Образцы криоконитов, а также ледниковых морен были отобраны с поверхности и из «криоконитовых стаканов» ледников Гарабаши и Шхельда в ходе экспедиции в 2020 г., ледника Безенги в 2021 г., ледников Малый Азау и Гарабаши (повторно) в 2022 г. Отобранные образцы были исследованы на содержание органического углерода и базального дыхания, которое показывает уровень микробиологической активности.

Содержание органического углерода определялось методом бихроматного окисления-титрования (метод Тюрина) в соответствии с национальным российским стандартом ГОСТ 26213-91 [2]. Базальное дыхание (микробиологическая активность) измерялось в лабораторном инкубационном эксперименте путем измерения  $\text{CO}_2$  в растворе 1М NaOH титрованием щелочного остатка 0,5М HCl после инкубации  $\text{CO}_2$  в течение 10 дней в герметичных пластиковых контейнерах [3].

Результаты проведенных анализов представлены в таблице 1.

Среди исследованных криоконитов наименьшие значения базального дыхания были определены в отложениях с ледника Шхельда (6.60 мг  $\text{CO}_2$ /100 г. в сутки), а наибольшее – с ледника Гарабаши, оно было высоким при первичном отборе (41.80 мг  $\text{CO}_2$ /100 г. в сутки) и еще более высоким при повторном отборе (66.89 мг  $\text{CO}_2$ /100 г. в сутки). Ледник Гарабаши находится в зоне активной антропогенной туристической деятельности, что предполагает выбросы различных загрязняющих веществ и элементов питания.

В недавнем исследовании [4] было обнаружено, что низкое содержание элементов питания, преимущественно фосфора, является основным фактором, ограничивающим развитие микробных сообществ в ледниковых экосистемах.

Таблица 1.

Уровень базального дыхания и содержание органического углерода в исследуемых образцах (Шхельда: 1-3; Гарабаши (2020 г.): 4-6; Безенги: 7-17; Малый Азау: 18-21; Гарабаши (2022 г.): 22-24)

Номер образца	Тип образца	Базальное дыхание, мг CO <sub>2</sub> /100 г. в сутки*	Органический углерод, %*
1	Криоконит	24.20	0.16
2	Криоконит	11.00	0.28
3	Криоконит	6.60	0.11
4	Криоконит	41.80	1.41
5	Криоконит	24.20	0.29
6	Морена	39.60	0.05
7	Криоконит	9.90	0.17
8	Криоконит	14.27	0.15
9	Криоконит	8.76	0.23
10	Криоконит	19.72	0.19
11	Морена	10.97	0.18
12	Морена	6.58	0.10
13	Морена	13.17	0.18
14	Морена	9.88	0.24
15	Морена	5.48	0.16
16	Криоконит	26.29	0.19
17	Криоконит	25.22	0.19
18	Криоконит	21.47 (± 3.00)	0.09 (± 0.01)
19	Криоконит	16.17 (± 2.60)	0.05 (± 0.01)
20	Криоконит	17.41 (± 2.37)	0.13 (± 0.01)
21	Криоконит	25.55 (± 1.71)	0.37 (± 0.04)
22	Морена	18.79 (± 2.14)	Не опр.
23	Криоконит	66.89 (± 3.46)	Не опр.
24	Морена	27.04 (± 3.36)	Не опр.

\* Указаны стандартные отклонения для образцов, отобранных в трех повторностях.

Непосредственная близость ледника Гарабаши к элементам туристической инфраструктуры обуславливает дополнительное поступление элементов питания. Кроме того, строительство новых туристических объектов также способно внести вклад в локальное загрязнение элементами питания за счет использования сухих строительных смесей и их попаданию на ледник с эоловым переносом. Увеличение уровней базального дыхания на леднике Гарабаши может свидетельствовать о развитии микробиома криоконитов с течением времени, не смотря на неблагоприятные условия окружающей среды. Стоит отметить, что значения базального дыхания на леднике Малый Азау (до 25.55 мг CO<sub>2</sub>/100 г. в сутки) ниже, чем на леднике Гарабаши, что, вероятно, связано с его

некоторой удаленностью от туристических объектов. При этом наибольшие значения обнаружены в образце криоконита, отобранных вблизи снежной тропы, используемой туристами. Криокониты на леднике Гарабаши отличаются друг от друга по значениям базального дыхания (от 8.76 до 26.29 мг CO<sub>2</sub>/100 г. в сутки), что объясняется их различными типами: криоконитам, рассеянным по поверхности ледника, свойственна меньшая микробиологическая активность в связи с активным переносом материала, в то время как криокониты в «криоконитовых стаканах» менее подвержены неблагоприятным процессам.

Наименьшее содержание органического углерода среди криоконитов отмечается в образце с ледника Малый Азау (мин. 0.05 %), при этом на участке, который находится вблизи туристической тропы его концентрация возрастает (0.37 %), что может быть связано с влиянием автотранспорта, периодически использующего данную дорогу. Криоконит с ледника Гарабаши отмечается наибольшим содержанием органического углерода (до 1.41 %), что также связано с его близостью к туристической инфраструктуре и местам сжигания ископаемого топлива. Меньшие значения органического углерода (до 0.23 %) характерны для криоконитов ледника Безенги, вне зависимости от их типа, что, вероятно, связано с меньшим окружающим антропогенным воздействием.

Исследование морен вблизи изучаемых ледников показало, что базальное дыхание (от 5.48 до 39.60 мг CO<sub>2</sub>/100 г. в сутки) и содержание органического углерода (от 0.05 до 0.24 %) в них в среднем ниже, чем в криоконитах. Это указывает как на более активные микробиологические процессы в криоконитах, так и на перенос органического вещества в прилежащие территории. Ранее Глазовская [5] изучала влияние отложений на поверхности ледников на прилегающие горные долины. Было установлено, что во время быстрого отступления ледника криокониты переносятся в перигляциальную часть и предгорные территории за счет эолового и флювиогляциального переноса. Таким образом, перенос органического углерода и высокотолерантных микробных сообществ из криоконитов способен влиять на развитие и функционирование как первичных почв в непосредственной близости к леднику, так и в более отдаленных почвах в горных долинах.

Таким образом, было установлено, что среди исследованных ледниковых отложений наибольшие значения базального дыхания и органического углерода характерны для ледника Гарабаши, что связано с активной антропогенной деятельностью в непосредственной близости. Наименьшая микробиологическая активность характерна для ледника Шхельда, а наименьшее содержание органического углерода – для ледника Малый Азау. При этом на последнем леднике отмечается повышение содержания органического углерода вблизи дороги. Ледник Безенги характеризуется отличиями в микробиологической

активности и содержании органического углерода: большие значения характерны для «криоконитовых стаканов», в то время как криокониты на поверхности подвержены переносу. Перенос микробиомных сообществ и углерода с ледника в горные долины способен повлиять на развитие локальных горных почв, что может усиливаться по мере деградации ледников.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 19-05-50107

### Литература

1. Takeuchi N., Kohshima S., Goto-Azuma K., Koerner, R. M. 2001. Biological characteristics of dark colored material (cryoconite) on Canadian Arctic glaciers (Devon and Penny ice caps) // *Memories of National Institute of Polar Research*. – 2001. – №. 54. – P. 495-505.
2. ГОСТ 26213-91. Методы определения органического вещества. – 1993. – 8 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023481> (Дата обращения: 25.02.2023).
3. Jenkinson D. S., Powelson D. S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil— V: a method for measuring soil biomass // *Soil biology and Biochemistry*. – 1976. – №. 8. – P. 209-213.
4. Schmidt S. K. et al. Microbial biogeochemistry and phosphorus limitation in cryoconite holes on glaciers across the Taylor Valley, McMurdo Dry Valleys, Antarctica // *Biogeochemistry*. – 2022. – № 158. – P. 313-326.
5. Глазовская М. А. Субаэральные покровные суглинки и почвы в высокогорьях Внутреннего Тянь-Шаня. В: Глазовский Н. (под ред.) Разнообразная география. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. С. 132-162.

УДК 556.16(282.256.33+282.256.333)

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА ВОДЫ С КАМЕННЫХ ГЛЕТЧЕРОВ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ, РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

Лебедева Л.С., Гончаренко В.В., Лыткин В.М.  
Институт мерзлотоведения СО РАН (Якутск, РФ)  
*lyudmilaslebedeva@gmail.com*

*Аннотация.* Целью работы было исследование ручьев с каменных глетчеров в бассейне р. Озёрная, северный Тянь-Шань, для оценки гидрологической значимости трех каменных глетчеров. Выявлено, что каменные глетчеры оказывают существенное влияние на водный режим, температуру и химический состав водотоков, формирующихся выходами воды из них. Стабильный сток с каменных глетчеров может играть важную роль в поддержании речного стока в периоды пониженной водности рек.

**Ключевые слова:** каменный глетчер, сток воды, северный Тянь-Шань, источник питания, гидрохимический трассер.

## WATER FORMATION PECULIARITIES OF DRAIN FROM STONE GLACIERS IN NORTHERN TIEN SHAN, REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Lebedeva L.S., Goncharenko V.V., Lytkin V.M.  
*Permafrost Institute SB RAS (Yakutsk, RF)*

**Annotation.** *The aim of the work was to study streams from stone glaciers in the basin of the river Ozernaya, northern Tien Shan, to assess the hydrological significance of three stone glaciers. It was revealed that stone glaciers have a significant impact on the water regime, temperature and chemical composition of watercourses formed by water outlets from them. Stable flow from rock glaciers can play an important role in maintaining river flow during periods of low river flow.*

**Keywords:** *rock glacier, water runoff, northern Tien Shan, source of water, hydrochemical tracer.*

### **Введение**

Вопрос о вкладе подземного льда каменных глетчеров, распространенных во всех крупнейших горных системах мира, в речной сток приобретает особую значимость на фоне резкого сокращения ледников и многолетних снежников. Jones и соавт. [2019] отметили, что вытаявание льда каменных глетчеров может быть существенным вкладом в сток рек, однако для количественных оценок необходимы натурные измерения, которые проводятся всего лишь на нескольких каменных глетчерах в мире преимущественно в Альпах. В отличие от ледников, каменные глетчеры более устойчивы к изменениям климата и могут существовать даже при положительной среднегодовой температуре воздуха.

Одним из основных источников стока рек северного Тянь-Шаня являются ледники, площадь которых убывает в последние десятилетия. Оценка влияния каменных глетчеров на гидрологические процессы важна для понимания реакции речного стока на изменения климата и разработки схем управления сокращающимися водными ресурсами в регионе.

Целью работы было исследование ручьев с каменных глетчеров в бассейне р.Озерная, северный Тянь-Шань, для оценки гидрологической значимости трех каменных глетчеров – Моренный, Городецкого и Туристов.

### **Объекты и методы**

Гляциально-криогенный комплексы (ГКК) Городецкого, Моренный и Турист расположены в бассейне реки Озерная в Заилийском Алатау (Рисунок 1). Каждый из них имеет длину более 3 км. Максимальным по длине и размеру является ГКК Городецкого протяженностью около 6 км. Основными элементами их строения являются несколько небольших ледников в истоках и крупный комплексный каменный глетчер в терминальной части, а также сочленяющее поле льдистых морен, подпрудных озерных котловин и ложбин стока в средней части ГКК. Каменный глетчер Городецкого имеет длину около 3.4 км, Моренный около 2.5 км, Турист около 1 км и лежат в интервале абсолютных высот 3150-4000 м н.у.м. Максимальная мощность каменных глетчеров, определенная

методом заложений, во фронтальной части составляет около 40-50 м. Фронтальный уступ каждого из них имеет крутизну естественного откоса и даже превышает ее. Их поверхность на всем протяжении покрыта глыбами и щебнем гранитоидов, гранулометрический состав которых распределен неравномерно. Средние размеры поверхностных обломков варьируют от 0.1 до 1 м. Встречаются участки нагромождения крупных глыб диаметром более 2-3 м.

В области питания каменных глетчеров расположены несколько одноименных каровых ледников. В краевых частях ледников встречаются подпрудные озерные котловины, служащие промежуточными емкостями ледникового стока. Яркими признаками интенсивного внутреннего дренажа каменных глетчеров являются расположенные в основании фронтального откоса высокодебитные источники воды. Каменный глетчер Моренный имеет два источника, Городецкого – четыре и Туристов – один. Сток осуществляется по хорошо выработанным стабильным руслам с твердым дном, покрытым гравийно-галечным материалом и валунами.

С 2018 и 2019 г. ведутся автоматизированные измерения температуры воды в местах ее выхода с помощью термических логгеров Onset HOBO с интервалом записи 4 часа. В 2021 г. были установлены логгеры, регистрирующие уровень и минерализацию воды. В течение экспедиционных исследований в 2019 и 2021 гг. отбирались пробы воды для определения химического состава – основных ионов и некоторых микрокомпонентов. Также в поле осуществлялись измерения расходов воды с помощью гидрологической вертушки и ручные определения электропроводности и температуры воды ручьев с каменных глетчеров, ледниковых водотоков, родников и других природных вод в бассейне р. Озерная с помощью портативного термокондуктометра “НМ-200” (Республика Корея).

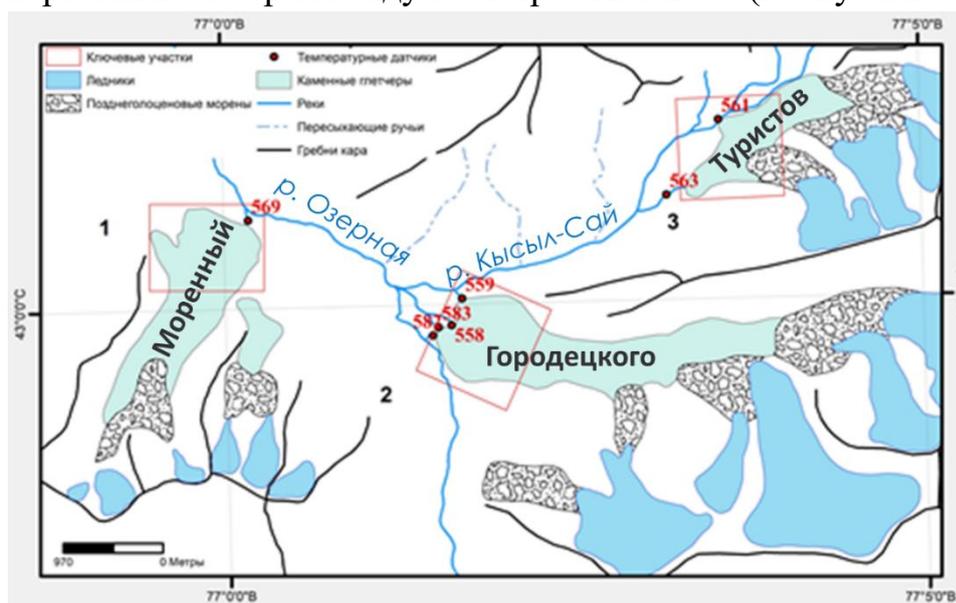


Рисунок 1. Схема участка исследования

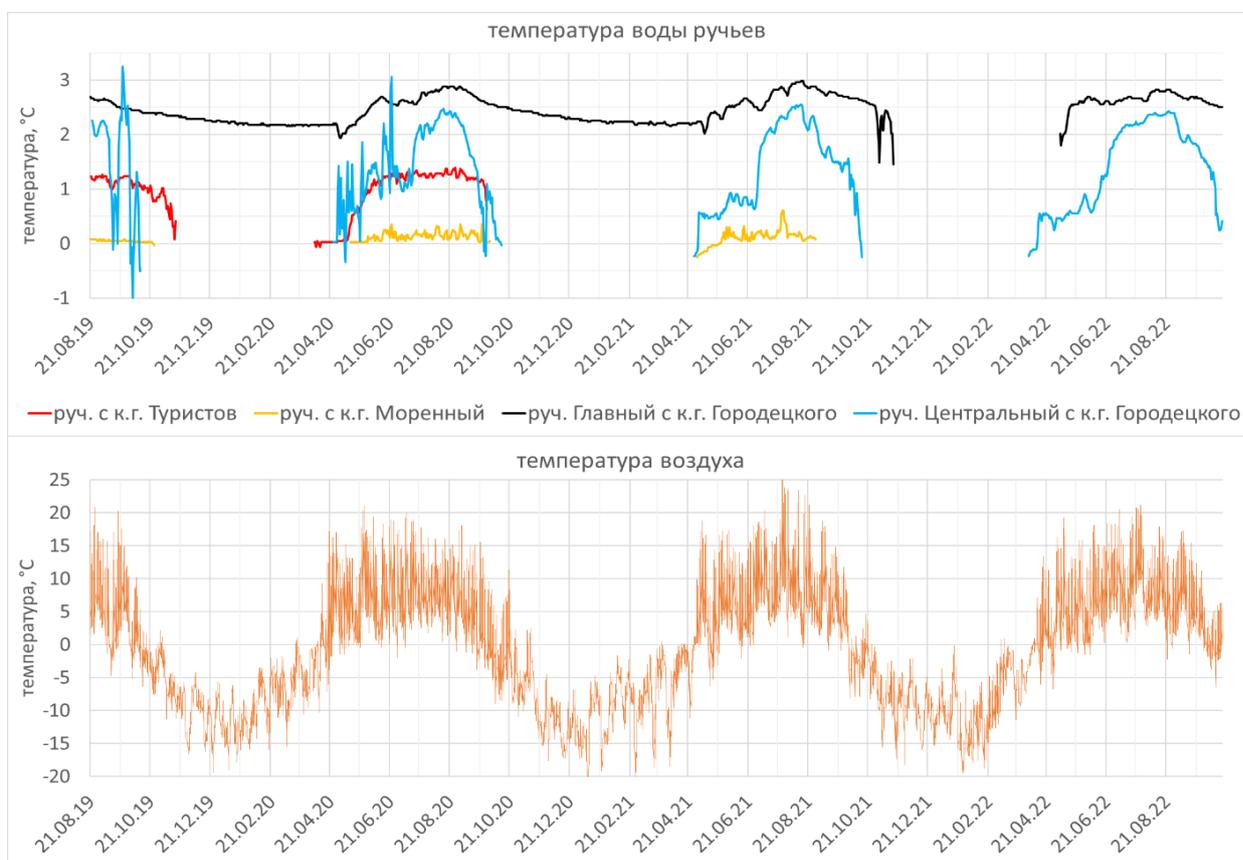
## Результаты

Расходы ручьев, вытекающих из каменного глетчера Городецкого, имеют высокие расходы, суммарно составляющие 870-1026 л/с в конце июля 2021 г. Группа сливающихся ручьев, вытекающих из каменного глетчера Городецкого и впадающих в р. Озерная, имели расход 360 и 440 л/с 25 и 26 июля 2021 г. соответственно. Ручьи из каменного глетчера Городецкого, впадающие в р. Кысыл-Сай, имели расход 513 и 586 л/с в эти же даты.

Сток с каменного глетчера Моренный значительно меньше, чем с каменного глетчера Городецкого. Расход ручья составлял 1.7-2.1 л/с 24 и 26 июля 2021 г.

Расходы ручьев, формирующихся выходами вод из каменных глетчеров, стабильны в течение дня и не имеют выраженной внутрисуточной динамики. Были также измерены расходы ручья, формирующегося без участия каменных глетчеров. Его основным источником питания в июле является таяние ледников в верхней части водосбора. Расход этого ручья составил 4.3 л/с в 9:45 и 45.8 л/с в 16:00 26 июля 2021 г., то есть колебания водности ледниковых ручьев составляет сотни процентов в течение суток.

Температуры воды ручьев и воздуха показаны на рисунке 2. Температурный режим четырех ручьев, вытекающих из каменных глетчеров Городецкого, Моренный и Турист, отличается и имеет свои характерные особенности.



**Рисунок 2.** Температура воды ручьев, вытекающих из каменных глетчеров (к.г.) и температура воздуха с августа 2019 по август 2022 гг.

Ручьи, вытекающие из каменного глетчера Городецкого, имеют относительно высокую температуру, которая достигает  $+2...+3^{\circ}\text{C}$ . Температурный режим стока каменного глетчера Городецкий наблюдался в трех разных источниках. Период их стока и ход температуры различается. Температура воды в главном выходе изменялась от  $+2...+3^{\circ}\text{C}$  с августа 2019 по октябрь 2021 г. с максимальными значениями в августе, минимальными – в марте и апреле. Плавное снижение температуры воды с сентября по апрель примерно на градус позволяет предположить, что этот выход функционировал круглогодично в 2019-2021 гг. Это единственный из наблюдаемых водотоков, который не перемерзал в эти зимы. В ноябре 2021 температура понизилась до отрицательных значений, что говорит о перемерзании источника в месте установки логгера. Сток возобновился в конце апреля 2022 г. Период перемерзания продолжался 138 дней, что на 50 дней меньше, чем период отрицательных среднесуточных температур воздуха. Центральный выход из каменного глетчера Городецкого перемерзает ежегодно и имеет температуру воды  $+0.5...+1^{\circ}\text{C}$  с начала стока по конец июня и прогревается до  $+2...+2.5^{\circ}\text{C}$  в июле и августе. Достаточно резкий подъем температуры воды на  $1-2^{\circ}\text{C}$  за 10-15 дней в начале июля предположительно связан с таянием сезонных льдов в каменном глетчере. Продолжительность стока центрального выхода составляла 172 и 167 дней в 2020 и 2021 гг. соответственно, что на 5 и 9 дней больше, чем период положительных среднесуточных температур воздуха.

Температуры ручьев с каменного глетчера Городецкого характеризуются высокими значениями и свидетельствуют об отсутствии многолетнемерзлых пород и существенных объемов многолетних подземных льдов в его краевых генерациях, что согласуется с результатами геофизических исследований [Галанин, 2017]. Кроме этого, значительные расходы и несколько источников у фронтального откоса, один из которых не перемерзает в зимнее время, также свидетельствует о талом ложе и запасах подземных вод в каменном глетчере.

Ручей из каменного глетчера Моренный имеет пониженную околонулевою температуру воды в течение всего сезона стока, которая не превышает  $+0.5^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность стока в 2020 г. составила 126 дней, что на 41 меньше, чем продолжительность периода с положительными среднесуточными температурами воздуха. Это говорит об ограниченных запасах подземных вод в каменном глетчере Моренный, в отличие от каменного глетчера Городецкого. Пониженная температура воды ручья с каменного глетчера Моренный может объясняться его высокой льдистостью, что согласуется с геофизическими исследованиями, проведенными методом ВЭЗ и ЗСБ в его средней части [Желтенкова, 2020].

Ручей с каменного глетчера Туристов характеризуется температурой воды около +1°C.

В августе 2019 г. было отобрано 19 проб воды, в июле 2021 г. – 55 проб воды из атмосферных осадков, ручьев, стекающих с каменных глетчеров, выходов подземных вод, снега, льда ледника и двух рек в бассейне р. Озерная. Все воды относятся к ультрапресным с минерализацией от 4.7 до 142 мг/л (

Рисунок 3). К наиболее минерализованным относятся воды некоторых ручьев (>124 мг/л), а также ручья, вытекающего из глетчера Моренный (108-121 мг/л), воды озера около глетчера Моренный (116 мг/л) и родники (84-126 мг/л). Самыми разбавленными являются воды ручьев с ледниковым питанием (12-57 мг/л), жидких осадков (20-40 мг/л), снега (4,7-17 мг/л) и льда ледника (7,7-20,7 мг/л). Воды ручьев, стекающих с разных каменных глетчеров, отличаются характерными значениями общей минерализации: 62.7-71.4 мг/л для каменного глетчера Городецкого, 108-122 мг/л для Моренного и 103-112 мг/л для Туристов. Доля ионов магния относительно понижена в ручьях с каменного глетчера Моренный (5-16%), повышена в ручьях с каменного глетчера Туристов (14-37%) и имеет средние значения в ручьях с каменного глетчера Городецкого (11-31%). Доля сульфат-ионов в ручьях с глетчера Городецкого выше (5-8%), чем в ручьях с глетчера Моренного (2-4%). Это говорит о различных источниках питания ручьев, стекающих с трех глетчеров, различиях в химическом составе вмещающих пород и времени взаимодействия воды с породами.

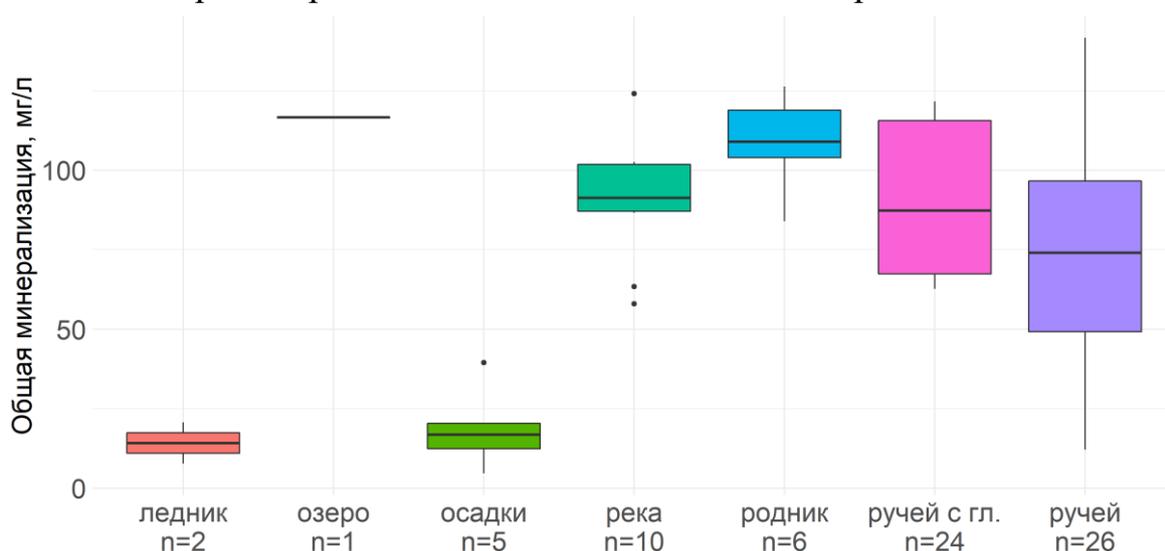


Рисунок 3. Диаграммы размаха значений минерализации воды, мг/л

Все опробованные воды относятся к гидрокарбонатно-кальциевым (по классификации О.А. Алекина), кроме одной пробы осадков и двух проб снега, которые относятся к гидрокарбонатно-натриевым водам.

## **Выводы**

Каменные глетчеры оказывают существенное влияние на водный режим, температуру и химический состав водотоков, формирующихся выходами воды из них. Они отличаются практически полным отсутствием внутрисуточных колебаний уровня, температуры и удельной электропроводности воды, которые ярко выражены в летний период у рек и ручьев с ледниковым питанием. Некоторые выходы воды из каменных глетчеров не перемерзают зимой, что говорит о значительных запасах подземных вод. Воды каждого из трех изученных каменных глетчеров отличаются характерной минерализацией, температурой и соотношением основных ионов. Стабильный сток с каменных глетчеров может играть важную роль в поддержании речного стока в периоды пониженной водности рек.

## **Литература**

1. Jones D.B., Harrison S., Anderson K. et al. Rock glaciers and mountain hydrology: A review // Earth-Sci. Rev., 193, 2019, pp. 66-90.
2. Галанин А. А., Оленченко В. В., Христофоров И. И., Северский Э. В., Галанина А. А. Высокодинамичные каменные глетчеры Тянь-Шаня // Криосфера Земли, 21(4), 2017, с. 58-74.
3. Желтенкова Н.В., Гагарин В.Е., Кошурников А.В., Набиев И.А. Режимные геокриологические наблюдения на высокогорных перевалах Тянь-Шаня // Арктика и Антарктика, 3, 2020, с. 25-43.

УДК 551.579:911.8

## **РАЗВИТИЕ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ГОСУДАРСТВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ И ФАКТОРЫ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ СОВМЕСТНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО**

**Мавлони М.С.<sup>1</sup>, Мавлони С.Р.<sup>2</sup>**

*Джухайский государственный университет<sup>1</sup> (г. Джухай, КНР)*

*Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии*

*Национальной академии наук Таджикистана<sup>2</sup> (г. Душанбе, РТ)*

*smavloni@mail.ru*

*Аннотация.* В статье приводится оценка геополитических перспектив развития водных секторов экономики Центральноазиатских государств, с разработкой предложений по решению существующих трансграничных проблем в управлении водными ресурсами.

*Ключевые слова:* Центральноазиатский регион, водные проблемы, трансграничные реки, водные ресурсы, Аральское море, водно-энергетический Консорциум.

## WATER DEVELOPMENT IN CENTRAL ASIAN STATES AND FACTORS LIMITING JOINT COOPERATION

Mavloni M.S.<sup>1</sup>, Mavloni S.R.<sup>2</sup>  
*Juhal State University<sup>1</sup> (PRC),  
Institute of Geology, Seismic Engineering and Seismology  
National Academy of Sciences of Tajikistan<sup>2</sup> (Dushanbe, RT)*

**Annotation.** *The article provides an assessment of the geopolitical prospects for the development of the water sectors of the economy of the Central Asian states, with the development of proposals for solving existing transboundary problems in the management of water resources.*

**Keywords:** *Central Asian region, water problems, transboundary rivers, water resources, Aral Sea, Water and Energy Consortium.*

После распада СССР в образовавшихся в Центральной Азии суверенных государствах исчезла единая энергосистема. Узбекистан, Казахстан и Туркмения стали продавать Таджикистану и Кыргызстану нефть, газ и электричество по рыночным ценам. В этих условиях Таджикистан и Кыргызстан решили обеспечить свою энергетическую безопасность путём круглогодичной эксплуатации имеющихся гидросооружений, а также строительством новых гидроэнергетических объектов: Рогунской (на р. Вахш), Даштиджумской (на р. Пяндж) в Таджикистане и двух Камбаратинских ГЭС (на р. Нарын) в Кыргызстане. Ситуация усугубляется ещё динамично растущим населением. По прогнозам экспертов к 2050 г. ожидается прирост населения в регионе от 69 (2015 г.) до 96 млн. чел. В этих условиях крайне необходимо определиться с правом распоряжаться водой, установить справедливую долю на нее каждого государства, правильно оценить перспективы развития водного сектора экономик Центральноазиатских государств (ЦАГ). Поэтому эффективное решение перечисленных проблем и задач, оценка перспектив, в т. ч. и геополитических, развития водных секторов экономики ЦАГ, с разработкой предложений по решению существующих трансграничных проблем в управлении водными ресурсами (УВР), определяют актуальность выбранной тематики.

Среди работ, посвященных оценке перечисленных задач, следует отметить работы В.А.Духовного, Р.С.Исаева, Н.К.Кипшакбаева, М.С.Мавлони, Д.М. Маматканова, У.И. Муртазаева, Н.К. Насырова, Г.Н.Петрова, Пулатова Я.Э. и др. Различные аспекты водопользования на трансграничных реках освещены также в работах зарубежных исследователей, таких как Дж. Аллан., М.Барлоу, Д. Вермиллион, А.Волф, Р.Зааг, Х. Каддуми, Ли Хью, Д.Молден, Й.Риджсберман, Н.Савенидж, М. Самад и др.

Анализ осуществленных исследований по основам водной политики в условиях перехода к рыночным отношениям на примере некоторых стран мира

[1, 2] показывает нарастание дефицита водных ресурсов, что требует необходимость осуществления коренных реформ в их управлении. Эксперты единодушны во мнении, что создание институциональной системы для водных ресурсов следует понимать как фундаментальную проблему социальной политики, а не как чисто инженерное занятие.

Сегодня в государствах Центральной Азии «водный вопрос» стал серьезным фактором межгосударственных отношений и региональной безопасности. При высоких темпах роста населения и низком уровне развития экономики, рынок труда в настоящее время и в перспективе будет испытывать значительное демографическое давление. Влияние демографического фактора в настоящем и будущем становится очень существенным, как в развитии национальных рынков труда, так и в миграционном движении рабочей силы. Значительное увеличение демографического потенциала региона при слаборазвитой экономике, могут обострить проблемы занятости, трудовой миграции, усилить социальную напряженность.

Перспективы устойчивого социально-экономического развития стран Центральной Азии в значительной степени определяются наличием водных и энергетических ресурсов (ВЭР), которые распределены по территории региона крайне неравномерно. Основные источники водообеспечения региона - реки Сырдарья и Амударья, преимущественно формируются в Кыргызстане и Таджикистане, которые на сегодняшний день не располагают промышленными запасами нефти и газа. В свою очередь для Казахстана, Туркменистана и Узбекистана это соотношение складывается обратным образом, и они являются крупнейшими региональными экспортёрами углеводородного сырья. В структуре производства энергии в странах верхнего течения свыше 80 % приходится на долю гидроэнергии, тогда как около половины своих внутренних потребностей в первичных энергоносителях они вынуждены удовлетворять за счёт импорта из стран нижнего течения.

Неисполнение взаимных обязательств, предусмотренных межправительственными соглашениями о порядке использования ВЭР, ослабляет экономическую, энергетическую и экологическую безопасность региона, в большей степени аграрного. Не секрет, что аридная зона составляет большую часть территории Центральной Азии, и она требует орошения. Из двух составляющих, необходимых для сельского хозяйства в этих условиях, в отношении земельных ресурсов можно отметить наличие свободных резервов земли и то, что все страны региона в той или иной мере планируют их использование в перспективе (табл. 1).

**Таблица 1.****Прошлые и прогнозируемые данные по площадям орошаемых земель****тыс. га**

Год	Казахстан	Кыргызстан	Таджикистан	Туркменистан	Узбекистан	Итого
1990	782	410	706	1329	4222	7449
1995	786	416	719	1736	4298	7955
2000	786	415	719	1714	4259	8101
2010	806	434	1064	2240	4355	8899
2025	815	471	1188	2778	6441	11693

Из табл. 1 следует, что в странах с наибольшей площадью орошаемых земель (Туркменистан, Узбекистан) к 2025 г. ожидается существенное увеличение площади орошаемых земель и соответственно рост водопотребления в аграрном секторе экономики региона. Это существенно повысит дефицит водных ресурсов в нём и усилит конкуренцию за воду как внутри стран, так и между ними, тогда как экологический допустимый объём водопользования в ЦА должен быть не менее 78-82 км<sup>3</sup> в год.

Именно неравномерное использования водных ресурсов в Центральной Азии обуславливает и обостряет конфликт интересов, поскольку они распределены по территории неравномерно и используются также разновекторно. Например, Республика Узбекистан с численностью населения 31,8 млн. человек, общей территорией 449,0 тыс. км<sup>2</sup> только для орошения использует 52400 млн. м<sup>3</sup>/год, или 88,5% своей потребности в воде, тогда как остальные четыре государства макрорегиона с суммарным количеством населения 38,1 млн. человек и общей территории 3 млн. 100 тыс. км<sup>2</sup> используют 68930 млн. м<sup>3</sup>/год, или 53,7% своей потребности в воде.

Поверхностные воды главных рек и их крупных притоков в основном являются трансграничными и их потребление наиболее высоко у стран – низовий, минимально – у Кыргызстана с Таджикистаном. Например, из стока Сырдарьи Узбекистан получает 50,5%, Казахстан – 42,0%, Таджикистан – 7,0% и Кыргызстан – 0,5%. Сток реки Амударьи распределяется следующим образом: Узбекистану 42,2%, Туркмении 42,3%, Таджикистану 15,2%, Кыргызстану 0,3%. На собственные нужды Таджикистан пока использует менее 20% стока, формирующегося на её территории, что равно 11% от среднегодового стока рек БАМ. Например, на р. Зеравшан из её стока в 5,05 км<sup>3</sup> Таджикистан забирает лишь 0,4 км<sup>3</sup> (7,92% её стока), остальной – 4,65 км<sup>3</sup> (92,08% её стока) уходит в соседний Узбекистан с расходом 144,43 км<sup>3</sup>/с.

Существующая ныне модель УВР, сформированная в советское время, подтверждает необходимость осуществления реформ в управлении ВХК, которые позволят в рыночных условиях привести его в соответствие с

сельскохозяйственным производством на орошаемых землях, и при этом учитывать интересы окружающей среды.

Традиционное потребительское видение вод речной системы как товара остается доминирующей формой не только в ЦА, но в других странах мира. Однако в условиях значительной деградации мировых запасов водных ресурсов, их сокращения в результате климатического изменения, традиционная форма неэкономного водного использования (а также загрязнения) постепенно замещается альтернативной формой экологически устойчивого развития, которая лежит в основе новой водной политики, в русле которой интересны следующие предложения.

Получила мировое признание теория виртуальной воды (“virtual water”) британского ученого Джона Аллана, который предлагает странам с нехваткой воды увеличить долю импорта водоёмких продовольственных товаров. Небезынтересно предложение советника ООН по водным ресурсам Мод Барлоу, который в своей книге “Голубой договор” (“Blue Covenant”) выделяет три основные причины водного кризиса в мире: истощение запасов пресной воды, несправедливый доступ к водным источникам, корпоративный контроль над водными резервами. Относительно недавно получила широкое освещение так называемая концепция распределения выгод Халла Гаддими, которая предлагает:

1. Заключение многосторонних (а не двусторонних) соглашений;
2. Усилия международного сообщества в урегулировании ситуации;
3. Разработка эффективных национальных водных политик;
4. Создания механизма оплаты поставки водных ресурсов.

По нашему мнению, из рассмотренных выше предложений по решению проблем совместного водопользования на практике в ЦАР наиболее применимо третье. В качестве примера можно указать на создание Водно-энергетического Консорциума (ВЭК), которое может стать важным шагом в повышении эффективности использования ВЭР, а также интеграции всех республик региона в единое экономическое пространство и повышение их международного авторитета, формирования надлежащей энергосистемы ЦА.

Парадокс состоит в том, что воды в Центральной Азии достаточно. Чрезмерные потери в водопользовании в Центральной Азии вызваны архаичной системой земледелия, когда расход воды на единицу продукции на порядок превосходит мировые показатели. В ЦАГ на каждый гектар орошаемых земель расходуется в среднем 12887 м<sup>3</sup> воды (в Израиле 5690 м<sup>3</sup>). В Таджикистане это цифра достигает 15860 м<sup>3</sup>. В Израиле с 1 га собирают до 50 центнеров хлопчатника, в ЦА – не более двадцати. Предварительные расчеты показывают, что внедрение средств механизации поверхностного полива на 250-300 тыс. га

позволило бы сэкономить только в Таджикистане 1,3-1,6 км<sup>3</sup> оросительной воды, по региону эта цифра составит 4-6 км<sup>3</sup>[3].

Использование вод трансграничных рек сегодня имеет много проблем. Существует мнение, что введения платного водопользования решит эту проблему. Однако, если считать воду товаром, как решить вопрос её транзита. Те же реки Амударья и Сырдарья на своём пути пересекают несколько государств и в них впадают множество притоков. Как правило, транзит любого товара должен оплачиваться. Ситуация может обостриться, если «проснётся» Афганистан, территорию которого пересекает Амударья.

Отношения СССР и Афганистана в части использования вод Амударьи регулировались соглашением о границе, подписанным в 1946 г., а также советско-афганским протоколом «О совместных работах по комплексному использованию вод р. Амударьи», подписанным в 1958 г. Эти соглашения затрагивали вопросы навигации, качества воды и водопользования, в том числе в целях ирригации. Вопросы квот не были прямо определены. Советский протокол № 566 от 1987 г. предполагал использование Афганистаном 2,1 км<sup>3</sup> воды в год. Сегодня отсутствуют точные данные о фактических объёмах использования воды из бассейна Амударьи Афганистаном, но эксперты указывают на то, что Афганистан в настоящее время использует около 2 км<sup>3</sup> воды в год или 3% среднегодового стока р. Амударья. Сейчас среднегодовое формирование воды с территории Афганистана в р. Амударья оценивается разными источниками от 6 до 17 км<sup>3</sup>.

Пробуждение интереса афганской стороны в региональной системе УВР может изменить баланс интересов стран региона и усилить межгосударственную напряжённость в бассейне. Поэтому вопрос о водной безопасности в регионе необходимо рассматривать с учётом международного опыта, учитывая изменение климата, рост численности населения, качество водных ресурсов и питьевой воды.

Проведенные исследования позволили сформулировать следующие выводы и предложения:

- Существующие принципы совместного использования воды в бассейнах рек Амударьи и Сырдарьи устарели. Требуют переосмысления вопросы координации институтов государственного управления и малоэффективное их взаимодействие в водном секторе и водотоков межгосударственного значения. Сейчас самое важное для региона в целом — это осознать, что у стран Центральной Азии общих интересов существенно больше, чем противоречий, и что отстаивать эти общие интересы возможно только действуя сообща, развивая взаимное политическое доверие.

- В условиях климатического изменения, которое будет неуклонно сокращать имеющиеся запасы водных ресурсов, традиционная форма неэкономного использования воды постепенно должна замещаться альтернативной формой экологически устойчивого развития, которая лежит в основе новой водной «гидрополитики». Она необходима для разработки единой региональной правовой базы в области трансграничного водопользования, определяющей взаимные выгоды и обязательства сторон.

- Нарушение экологического баланса в Центральной Азии из-за усыхания Аральского моря приводит к климатическим и погодным аномалиям и в странах ближнего зарубежья, в том числе и в России. Возрождения Аральского моря можно достичь, подавая часть стока из р. Обь в Казахстан и Узбекистан. Тогда бы меньше воды забиралось из Сырдарьи в пользу Аральского моря. Если учесть, что сами южные регионы России испытывают большую экономическую потребность в воде, к этому вопросу мы всё равно вернёмся.

#### Литература

1. Амиджанов М.А., Пулатов Я.Э., Хамрокулов А.Х. Из опыта платного водопользования. //Мелиорация и водные ресурсы: проблемы и пути их решения. Матер. научно-практич. конфер. Душанбе, 2010. - С. 48-56.
2. Петров Г.Н. К вопросу о стратегии экономического развития Таджикистана.//Центральная Азия и Кавказ. 2006, № 3 (45). – С. 145-156.
3. Муртазаев У.И., Мавлони М.С. Управление водными ресурсами Центральноазиатского региона: проблемы и пути их решения (минимизации). Душанбе, «Ирфон», 2016. – 212 с.

УДК 551.578.46 (571.65)

### **ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СНЕГА И ЛЬДА ЛЕДНИКА № 31 ХРЕБТА СУНТАР-ХАЯТА (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)**

**Макаров В.Н.**

*Институт мерзлотоведения СО РАН (Якутск, РФ)*

*vnmakarov@mpi.ysn.ru*

***Аннотация.** Рассмотрены геохимические особенности льда и снега ледника № 31 хребта Сунтар-Хаята, расположенного на Северо-Востоке России. Снег на высотах 2400-2600 м, ультрапресный с минерализацией около 3 мг/л, с кислой реакцией среды (рН=4.67-6.32). По химическому составу гидрокарбонатный смешанный по катионам с преобладанием ионов натрия или аммония. Химический состав льда ледника гидрокарбонатный смешанный по составу катионов, с очень низкой минерализацией (7-18 мг/л) и кислой реакцией среды (рН 5.11-6.58). Показано, что преобладающее влияние на процессы формирования химического состава снежного покрова ледника оказывают соли континентального происхождения. Доля морских солей за счет выноса воздуха со стороны Тихого океана составляет менее 1/5.*

***Ключевые слова:** ледник, лед, снег, геохимия, Сунтар-Хаята.*

## CHEMICAL COMPOSITION OF SNOW AND ICE OF GLACIER No. 31, SUNTAR-KHAYAT RIDGE (NORTH-EAST RUSSIA)

Makarov V.N.

*Institute of Permafrost Science SB RAS (Yakutsk, RF)*

**Annotation.** *The geochemical features of ice and snow of the glacier No. 31 of the Suntar-Khayat Ridge located in the North-East of Russia, are considered. Snow at altitudes of 2400-2600 m, ultra-fresh with a mineralization of about 3 mg/l, with an acid reaction of the environment (pH=4.67-6.32). In terms of chemical composition, hydrocarbonate mixed in terms of cations with a predominance of sodium or ammonium ions. The chemical composition of the ice of the glacier is hydrocarbonate mixed in terms of the composition of cations, with very low mineralization (7-18 mg/l) and acid reaction of the environment (pH 5.11-6.58). It is shown that salts of continental origin have a predominant influence on the processes of formation of the chemical composition of the glacier snow cover. The share of sea salts due to the removal of air from the Pacific Ocean is less than 1/5.*

**Keywords:** *glacier, ice, snow, streams, geochemistry, Suntar-Khayat ridge.*

Горный хребет Сунтар-Хаята расположен на Северо-Востоке России. Это один из центров современного горного оледенения Южного Верхоянья и является водоразделом двух крупных речных систем Северо-Востока Азии – Лены (Алдана) и Индигирки, а также рек Охотского побережья. Хребет вытянут на 450 м с северо-запада на юго-восток и представляет собой слабо расчлененное горное поднятие со средней абсолютной высотой в центральных частях порядка 2500 - 2800 м. Рельеф гляциальный: крупные ледниковые кары и цирки с современными ледниками чередуются с крутыми гребнями и плоскими водораздельными поверхностями.

Хребет Сунтар-Хаята находится в западной части Охотско-Чукотского альб-позднемелового вулcano-плутонического пояса на восточном крыле Южно-Верхоянского синклиория. Территория сложена мощными терригенными породами пермского и триасового возраста, образующими складки долготного и северо-восточного простирания. Характерны небольшие поля полгозалегających верхнемеловых вулканитов и тела субвулканических риолитов и дацитов позднемелового возраста. Магматические и рудные проявления (Pb, Zn, Sn, Ag, Au, W и Sb) контролируются долготными, северо-западными и северо-восточными разломами.

Основным объектом комплекса геохимических исследований послужил ледник № 31 (рис. 1).

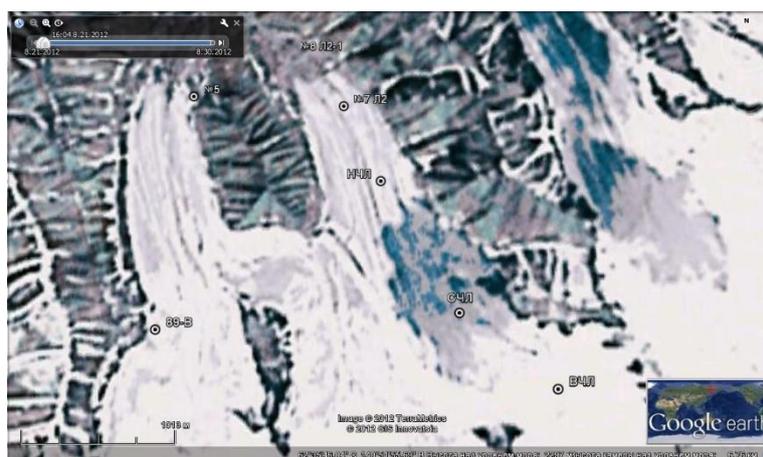


**Рисунок 1.** Язык ледника №31.

Ледник является типичным для хребта Сунтар Хаята долинным ледником; его область питания представляет собой цирк округлой формы с пологим дном и крутыми, покрытыми льдом склонами северной, северо-западной и западной экспозиций. Склоны юго-западной и южной экспозиций обнажены от ледяного покрова на 50—100 м книзу от их вершин (2500—2600 м). Поверхность ледника №31 характеризуется ступенчатостью: чередованием крутых и пологих участков. Глубокие оврагообразные понижения на леднике заняты промоинами [1].

Отбор геохимических проб: льда, снега и воды выполнен сотрудниками ИМЗ СО РАН. Пункты геохимического опробования показаны на рис. 2.

Анализ проб воды и льда проводился в лаборатории геохимии криолитозоны ИМЗ СО РАН (аналитики Л.Ю.Бойцова, Р.М.Петухова и О.В.Шепелева). Контрольные химические анализы выполнены в Центральной геолого-аналитической лаборатории ГУП РС(Я) – «Центргеоаналитика».



**Рисунок 2.** Схема геохимического опробования

## Результаты и обсуждение

Снег, отобранный в верхней части ледника №31 (абс. отм. 2400-2600 м), отличается очень низкой минерализацией – около 3 мг/л, кислой реакцией среды –  $pH=4,67-6,32$ . По химическому составу гидрокарбонатный смешанный по катионам с преобладанием ионов натрия или аммония.

По соотношению главных ионов химический состав снежного покрова ледника 31 типичен для горных ландшафтов Якутии [2] и подчиняется общей закономерности, в соответствии с которой, первым анионом ультрапресных вод является  $HCO_3^-$ . В ландшафтах горных пустынь хребта Сунтар Хаята с абсолютными отметками более 2000 м минерализация снега снижается до 2-3 мг/л. Это обстоятельство может быть связано с резким уменьшением содержания аэрозолей с высотой: в горах на абсолютных отметках 2000-3000 м их примерно в 30 раз меньше, чем над равнинами.

Преобладающее влияние на процессы формирования химического состава снежного покрова в высокогорных ландшафтах региона оказывают соли континентального происхождения. Об этом свидетельствуют высокие содержания гидрокарбонатов кальция (45-54 %-экв.), соли океанические составляют всего 12-18% от общего количества солей в снежном покрове. В районе ледника №31, вблизи зоны влияния Тихого океана, в 250-300 км от Охотского моря, на северных и северо-западных склонах хребта Сунтар-Хаята, доля морских солей постепенно увеличивается до 22%. Вынос сравнительно теплого и влажного воздуха со стороны Тихого океана – «восточный процесс», как его называют якутские синоптики, характерен для середины зимы [3].

Относительное содержание сульфат-иона в снежном покрове горных ландшафтов не превышает 12 %-экв. (0.28-2.2 мг/л), что отражает низкий уровень техногенного давления в регионе и слабое влияние океанических солей.

Величина  $pH$  в снежном покрове горных ландшафтов колеблется в пределах 5.73-6.37, что отвечает фоновым атмосферным осадкам. В загрязненных районах Якутии снег имеет щелочные значения  $pH$  [2].

По мере повышения высотности в горных ландшафтах хребта Сунтар Хаята наблюдается увеличение роли соединений азота в химическом составе снега (преимущественно его аммонийной формы), уменьшение минерализации и повышение кислотности снеговых вод. На высотах более 2000 м химический состав снега становится гидрокарбонатным смешанным по катионам с преобладанием ионов натрия и аммония.

Главные характеристики химического состава снежного покрова и высокогорных ландшафтов горных пустынь хребта (минерализация, величина  $pH$ , химический состав) представлены в табл. 1.

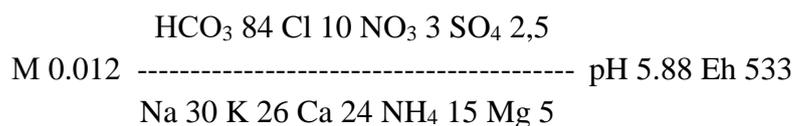
Таблица 1.

**Химический состав снежного покрова мерзлотных ландшафтов горных пустынь хребта Сунтар-Хаята**

Абс. отм., м	Минерализация, мг/л	pH	Химический состав (формула Курлова)
2400	2.8	4.67	$HCO_3^- 81 Cl^- 12 SO_4^{2-} 4 NO_3^- 3$ ----- $NH_4^+ 37 Ca^{2+} 24 Na^+ 22 K^+ 12 Mg^{2+} 5$
2600	3.4	6.32	$HCO_3^- 82 Cl^- 12 SO_4^{2-} 3 NO_3^- 3$ ----- $Na 38 Ca 23 K 18 NH_4 13 Mg 8$

Химический состав льда ледника №31 гидрокарбонатный смешанный по составу катионов. Величина минерализации льда в среднем равна 11,9 мг/л и остается практически постоянной от верхней части ледника до языка. Лед отличается низкой минерализацией (7-18 мг/л), кислой реакцией среды (pH 5.11-6.58).

Усредненный химический состав льда ледника иллюстрируется ниже (формула Курлова):



По химическому составу льды ледника близки к составу снега (табл. 2).

Таблица 2.

**Химический состав снега и льда ледника №31**

Компоненты	Ед. изм.	Снег		Лед ледника 31
		Ландшафты горных пустынь хребта Сунтар-Хаята	Ледник 31	
Абс. отм.	км	1.2	2.4	2.2-2.4
pH	-	5.82	4.67	5.88
Минерализация	мг/л	11.58	2.76	11.85
Ca <sup>2+</sup>	-«-	2.04	0.20	0.83
Mg <sup>2+</sup>	-«-	0.38	0.02	0.17
Na <sup>+</sup>	-«-	1.10	0.02	1.16
K <sup>+</sup>	-«-	0.39	0.02	1.00
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-«-	0.51	0,30	0.55
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-«-	8.19	2.84	11.13
Cl <sup>-</sup>	-«-	1.65	0.24	1.25
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-«-	1.08	0.11	0.30
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-«-	0.04	0.01	0.01
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-«-	0.29	0.11	0.24
Fe <sup>3+</sup>	-«-	-	-	0.2
Соотношение анионов		$C > Cl > S$	$C > Cl > S > N$	$C > Cl > S$
Соотношение катионов		$Ca > Na > \Sigma N^* > K > M$ g	$\Sigma N > Ca, Na,$ $K > Mg$	$Na > K > Ca > \Sigma$ N

Примечание:  $\Sigma N^* = NH_4^+ + NO_2^-$

## **Выводы**

Химический состав снежного покрова ледника типичен для горных районов и подчиняется общей закономерности, в соответствии с которой, первым анионом пресных и ультрапресных вод является  $\text{HCO}_3^-$ . Преобладающее влияние на процессы формирования химического состава снежного покрова оказывают соли континентального происхождения. Доля морских солей в снеге за счет выноса воздуха со стороны Тихого океана составляет 1/7 - 1/5.

Лед ледника отличается однородным гидрокарбонатным смешанным по составу катионов химическим составом, формирующимся в результате криогенной метаморфизации снега. Для него характерна низкая минерализация (7-18 мг/л) и кислая реакция среды (pH 5,11-6,58). Химический состав льда неоднороден на протяжении ледника. В верхней части ледника в катионном составе льда заметно влияние щелочноземельных металлов, в средней и нижней частях ледника в катионном составе льда преобладают ионы натрия и аммония.

Химический состав снега ландшафтов горных пустынь хребта Сунтар-Хаята определяется преимущественно атмосферным переносом континентальных солей, при определенном влиянии морских солей поступающих со стороны Тихого океана.

Автор благодарен сотрудниками ИМЗ СО РАН: П.В.Ефремову, П.Я.Константинову, В.М.Лыткину и Н.В.Торговкину участвовавшим в сборе фактического материала.

## **Литература**

1. Корейша М.М. Современное оледенение хребта Сунтар-Хаята. Гляциология №11. – М.: Изд-во АН СССР. 1963 г. 169 с.
2. Koreysha M.M. Modern glaciation of the Suntar-Khayat ridge. Glaciology No 11. – М.: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR. 1963. 169 p.
3. Макаров В.Н. Геохимия снежного покрова таёжных и горных мерзлотных ландшафтов Якутии // Лед и снег. – 2014. - №1 (125) - С. 73-80.
4. Makarov V.N. Geochemistry of snow cover in taiga and mountain permafrost landscapes of Yakutia // Ice and snow. - 2014. - No. 1 (125) - S. 73-80
5. Казурова Н.С. Синоптические процессы Якутии в различные сезоны и их краткая характеристика. Общие сведения. – В кн.: Вопросы географии Якутии, вып. 1. – Якутск: Якуткнигоиздат, 1961. С. 19-26.
6. Kazurova N.S. Synoptic processes of Yakutia in different seasons and their brief description. General information. - In the book: Questions of the geography of Yakutia, no. 1. - Yakutsk: Yakutknigoizdat, 1961. S. 19-26.

## КАК СЕБЯ ЧУВСТВУЕТ АРАЛЬСКОЕ МОРЕ СЕГОДНЯ?

Надыров Ш.М., Мавлони М.С.

*Казахский национальный университет имени Аль-Фараби (Алматы, Каз.)*

*Джухайский государственный университет (г. Джухай, КНР)*

*smavloni@mail.ru*

**Аннотация.** В статье, с учетом социально - экономико-географических особенностей Центральной Азии, акцентируется внимание на увеличение дефицита водных ресурсов, связанных как с потеплением климата, уменьшением площади распространения ледников, так и неправильным водопользованием, особенно в сельскохозяйственных структурах. В качестве примера воздействия этих негативных процессов рассматривается сложившаяся ситуация с Аральским морем.

**Ключевые слова:** Аральское море, Центральная Азия, водные ресурсы, вода как товар, водная политика, орошаемое земледелие.

## HOW DOES THE ARAL SEA FEEL TODAY?

Nadyrov Sh.M., Mavloni M.S.

*Kazakh National University named after Al-Farabi (Almaty, Kaz)*

*Juhai State University (PRC)*

**Annotation.** In the article, taking into account the socio-economic and geographical features of Central Asia, attention is focused on an increase in the shortage of water resources, such as climate warming, a decrease in the area of glaciers and improper use of water, especially in agricultural buildings. As an example of the impact of these negative processes, the current situation with the Aral Sea is considered.

**Key words:** Aral Sea, Central Asia, water resources, water as a commodity, water policy, irrigated agriculture.

Сегодня в связи с потеплением климата и уменьшением площади распространения ледников, особенно в странах Центральноазиатского региона (ЦА), как профильные, так и непрофильные специалисты и организации с тревогой говорят о нарастания дефицита водных ресурсов. Осознавая важность и значимость этого вопроса не только для социально-экологической жизнедеятельности людей, но и для сельского хозяйства в целом, ученые предлагают всевозможные способы для сбережения этого воистину природного дара и рационального его использования. Появились такие понятия, как экономико-географическая сущность управления водными ресурсами, природно-ресурсный потенциал и место в нем водных ресурсов, создание институциональной системы для водных ресурсов, вода товар и имеет свою цену и так далее.

В контексте вышеотмеченного представляется важным рассмотреть катастрофические последствия неправильного, неуважительного отношения к

Аральскому морю, которое было оазисом не только для Каракалпакии, но и всего ЦА региона.

Аральское море - это озеро с площадью 8303 км<sup>2</sup> (занимает четвертое место в мире - (после Каспия, Верхних озер Северной Америки, Виктории в Африке), расположено между Казахстаном (Кызылординская и Актюбинская области) и Узбекистаном (Каракалпакия). Образовалось в период неогена в виде безводной тектонической впадины. В конце древнечетвертичного периода впадина впервые наполнилась водами рек Сырдарья и Амударья с естественными водными ресурсами. Предполагается, начиная с 1917 года, древний Арал претерпел около 6 трансгрессий и регрессий (увеличение и усыхания) [1]. Однако если раньше причинами подобных изменений были чисто климатические факторы, сегодня доминируют антропогенные воздействия.

Территория ЦА государств занимает общую площадь около 4 млн. км<sup>2</sup> и представляет собой обширную бессточную область замкнутого Арало-Каспийского бассейна. Географическое положение территории региона в зоне внутриматериковых пустынь, удаленность от морей и океанов и характер орографического строения обуславливают континентальность климата и связанную с этим гидрографическую сеть, режим рек [2]. В горных районах выпадает значительное количество осадков. Этим объясняется наличие на востоке территории крупных районов оледенения (ледники Федченко на Памире, Иньльчек на Тянь-Шане и др.), зарождение таких крупных водных артерий, как Сырдарья и Амударья, которые являются основными гидроресурсами Аральского моря, естественные водные ресурсы которых составляют 37 км<sup>3</sup>/год и 75 км<sup>3</sup>/год соответственно (рис. 1).

Трагедия Аральского моря вызвана в основном недопустимо огромными заборами воды из рек Амударья и Сырдарья, что вызвало в регионе ряд негативных последствий. В 1960 г. площадь Аральского моря составляла 67 тыс. км<sup>2</sup>, объем воды около 1062 км<sup>3</sup>. Сегодня эти показатели соответственно составляют 30 тыс. км<sup>2</sup> и 270 км<sup>3</sup>. Количество соли увеличилось от 11 г/литр до 40 г/литр. Ежегодно в Аральское море поступало 59,4 км<sup>3</sup> воды, сегодня ни капли. В Каракалпакии из 485 тыс. га поливных земель 377 тыс. га превратились в солончаки. В прежние годы уровень воды в Аральском море было на 54 м выше уровня воды Мирового океана, сегодня этот уровень снизилось до 37 м. [3].



**Рисунок 1.** Водные ресурсы Аральского моря

Усыхание Аральского моря и масштабы его влияния на здоровье населения и окружающую природную среду, признаны мировым сообществом крупнейшей экологической катастрофой. Для предотвращения этой ситуации Правительство СССР в 1987 г. под председательством Министра охраны окружающей среды создало Рабочую группу. В результате в 1988 г. вышло специальное постановление Правительства СССР «Об улучшении экологической обстановки бассейна Аральского моря». Согласно этому документу необходимо было сократить объемы используемых вод бассейна Аральского моря на 25%.

Президент Казахстана Н.А.Назарбаев в январе 1993 г. на Ташкентской встрече Глав государств ЦА выступил с инициативой о необходимости принятия скоординированных мер по решению Аральской проблемы. Странами региона это предложение было поддержано. 26 марта 1993 г. в г. Кызылорда состоялась конференция Глав государств ЦА с участием Российской Федерации по Аральской проблеме, на которой подписано «Соглашение о совместных действиях по решению проблем Аральского моря и Приаралья, экологическому оздоровлению и обеспечению социально-экономического развития Аральского региона». Был учрежден Международный Фонд спасения Арала. Как показывает международный опыт и наши разработки, региональное сотрудничество в

отношении водных ресурсов, подпадающих под юрисдикцию нескольких государств, должно осуществляться в рамках совместной комиссии по речным бассейнам. При этом главным является обоснованная схема разработки конкретных механизмов, без которых не заработает ни одно хорошее начало, как например Бишкекское Соглашение по р. Сырдарья (1998 г.) об оказании компенсации за услуги по регулированию стока. Были и другие решения и предложения как регионального, так и международного характера. К сожалению, эти решения остались только на бумаге.

Подсчеты показывают, что если в ЦА площадь хлопковых полей сократить на 5%, можно сэкономить 7 км<sup>3</sup> воды. Русский ученый Л. Берг еще в 1908 г. в своем труде «Географо-исследовательский очерк Арала» указывал на катастрофические последствия безмерного орошения за счет Амударьи [4]. Известный российский ученый Н.Ф. Глазовский показал, что только в Узбекистане ежегодно при поливе теряется до 20 км<sup>3</sup> воды, в Туркменистане 6,5 км<sup>3</sup>, в Таджикистане более 4,0 км<sup>3</sup>. В целом в странах ЦА ежегодно теряется до 45 км<sup>3</sup> воды. Поступления такого количества воды в Аральское море во многом решило бы существующие проблемы [5]. В этой связи немаловажным фактором сбережения пресных вод в регионе должны стать водосберегающие технологии, которые давно и успешно применяются в Сирии, Иордании, Израиле, Ливане и других странах близкие по физико-географическим характеристикам к ЦА.

Общеизвестно, что население ЦА стран увеличивается по геометрической прогрессии. В этих условиях возникает необходимость интеграции стран ЦА в работу региональных и международных структур, следуя и выполняя конкретные правила, положения и установок. Это в полной мере относится и к управлению водными ресурсами. Существующие на сегодня подходы в решении проблем трансграничного водопользования не всеми государствами региона воспринимаются однозначно. Создание Водно-энергетического консорциума было бы важным шагом в повышении эффективности использования водных ресурсов ЦА, интеграции государств региона в единое экономическое пространство и повышении их международного авторитета. Страны региона должны возникающие проблемы решать через призму интеграции. Именно интеграция является золотым ключом и наиболее эффективным способом для всеобъемлющего прогрессивного развития, создания мира и спокойствия в этом макрорегионе.

В этом контексте заслуживает поддержки идея директора Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации, академика Кизяева Б. в том, что не только Азиатский регион, даже области Южного Урала (Свердловская, Тюменская, Оренбургская, Челябинская, Курганская) нуждаются в переводе части стока из р. Обь. Подача части сибирской воды в северные

районы Центральной Азии (Казахстан, Узбекистан) не только удовлетворит нужды населения экологически чистой питьевой водой, но и обводнит р. Сырдарья, и, конечно, разрешить проблему Аральского моря. Наряду с этим нужно создать межгосударственный водно-энергетический холдинг с участием России, который будет решать, наряду с водными проблемами, и вопросы энергетики.

Несмотря на то, что процесс суверенизации независимых государств ЦА усугубил их историческую общность, они должны привлекать друг друга как экономический, гуманитарный, интеллектуальный партнер. В этих условиях стремление к достижению высокого качества жизни всех слоев населения должны быть стандартом устойчивого их развития. «Теперь вместо экономических критериев пришли категории и критерии качество и уровня жизни, а саморазвитие человеческого потенциала стало целью и фактором не только экономического роста, но индикатором эффективной политики государства в области развития человеческих ресурсов» [6, с.101].

#### Литература

1. Духовный В.А., Ю. де Шуггер. Проект: «Интегрированное управление водными ресурсами в бассейне Аральского моря с целью восполнения водных поверхностей южного Приаралья». Программа НАТО, «Наука для мира», 2003 г., - 64 с.
2. Муртазаев У.И., Мавлони М.С., Мавлони С.Р. Перспективы перевода управления водными ресурсами Таджикистана на платную основу. // Матер. республ. научн. конфер. «Использование водных ресурсов в условиях изменения климата». Душанбе, Вестник Таджикского гос. пед. университета им. С.Айни, Душанбе, 2015. - С. 8-10.
3. Иванова А.В. Гидрологические аспекты проблемы Аральского моря // Водные ресурсы, 1992, № 2. – С. 39-49.
4. Берг Л.С. Географо-исследовательский очерк Арала. // Изв. Туркестанского отдела Императорского русского географического общества. Т. У. Санкт-Петербург, 1908.- 610 с.
5. Глазовский Н.Ф. Аральский кризис: причины возникновения и пути выхода. –М.: Наука, 1990.-136 с.
6. Казахстан в системе новейших геополитических и региональных трансформаций в Центральной Азии: Монография/ Под ред. Ш.М.Надырова. – Алматы: ИД «МИР», 2014. – 180 с.

## КЛИМАТИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ПОДВИЖКИ ГОРНО-ДОЛИННЫХ ЛЕДНИКОВ ЮВ АЛТАЯ В ГОЛОЦЕНЕ

Непоп Р.К.<sup>1</sup>, Агатова А.Р.<sup>1</sup>, Назаров А.Н.<sup>2</sup>, Мыглан В.С.<sup>2</sup>  
Институт геологии и минералогии СО РАН<sup>1</sup> (г. Новосибирск, РФ)  
Сибирский федеральный университет<sup>2</sup> (г. Красноярск, РФ)  
agatr@mail.ru

***Аннотация.** Ледники являются чутким индикатором глобальных изменений климата. В условиях наблюдаемого прогрессирующего потепления стремительно сокращающиеся ледники продолжают оставаться одним из основных источников пресной воды в центре Евразии, самого крупного континента Земли. Оценить последствия их полного исчезновения и установить повторяемость климатических событий, сходных с происходящим в настоящее время, возможно, изучая динамику оледенения горных систем Центральной Азии в недавнем геологическом прошлом. В данной статье проводится анализ имеющихся к настоящему моменту численных определений возраста ледниковых и связанных с ними отложений, а также дендрохронологических данных в верховьях троговых долин Русского Алтая, в результате которого обосновывается хронология трех последних, выраженных в рельефе, стадий активизации горно-долинных ледников и масштабы их продвижения в голоцене.*

***Ключевые слова:** Горно-долинное оледенение, стадийные подвижки ледников, динамика климата, голоцен, ЮВ Алтай.*

## CLIMATICALLY DRIVEN HOLOCENE ALPINE GLACIERS ACTIVITY IN SE ALTAI

Nepop R.K.<sup>1</sup>, Agatova A.R.<sup>1</sup>, Nazarov A.N.<sup>2</sup>, Myglan V.S.<sup>2</sup>  
Institute of Geology and Mineralogy SB RAS<sup>1</sup> (Novosibirsk, RF)  
Siberian Federal University<sup>2</sup> (Krasnoyarsk, RF)

***Annotation.** Glaciers are a sensitive indicator of global climate change. In the context of the observed progressive warming, rapidly shrinking glaciers continue to be one of the main sources of fresh water in the center of Eurasia, the largest continent of the Earth. To assess the effects of their complete disappearance and to establish the recurrence of the main climatic trends similar to those currently observed, it is necessary to take full advantage from studying the dynamics of glaciation of the mountain systems of Central Asia in the recent geological past. This article analyzes the currently available numerical ages of glacial and associated deposits, as well as dendrochronological data in the upper reaches of the trough valleys of the Russian Altai. Available data substantiate the chronology and the size of the Holocene glacier advances in the region.*

***Keywords:** alpine glaciation, stadial glacial activity, climate dynamics, Holocene, SE Altai.*

### Введение

Прогессирующее потепление на рубеже текущего тысячелетия приводит к стремительному сокращению площади современного оледенения. При этом в центре Евразии, самого крупного континента Земли, горно-долинные ледники продолжают оставаться одним из основных источников пресной воды. Возможно ли их полное исчезновение и каковы могут быть последствия такого сценария? Происходили ли раньше потепления климата, сходные по амплитуде

с наблюдаемым в настоящее время? Являются ли голоценовые ледники стадиями сокращения последнего оледенения плейстоцена? Когда наступила малая ледниковая эпоха в центре континента, и было ли продвижение ледников в это время максимальным? Ответить на эти вопросы можно, изучая динамику оледенения горных систем Центральной Азии в голоцене – периоде, сменившем эпоху глобальных оледенений и длящемся до настоящего времени. Небольшая, относительно плейстоцена, площадь голоценового оледенения определяла более чуткую реакцию ледников даже на небольшие колебания климата, что позволяет искать возможные аналогии наблюдаемого сокращения современных ледников в недавнем геологическом прошлом.

Алтай – самое северное горное поднятие в составе Центрально-Азиатского горного пояса. Его высоты превышают 3.5-4.2 тыс. м н.у.м и благодаря положению выше региональной снеговой линии обуславливает наличие современного оледенения, питающего реки бассейна Северного Ледовитого океана и внутренних бассейнов Азии. Основные черты современного климата Алтая определяются его внутриконтинентальным положением, поступлением основного объема осадков с запада, со стороны Атлантического океана, и воздействием Монгольского антициклона. Рассматриваемая в работе юго-восточной части Русского Алтая (ЮВ Алтай) имеет наибольшую для всей горной системы протяженность с запада на восток и характеризуется сложной широтно-меридиональной ороклиматической зональностью с господствующим аридным климатом.

В условиях дефицита влажности на распределение современных ледников влияют: дифференциация хребтов по абсолютной высоте; фактор экспозиции склонов, усиленный преимущественно субширотным простираем хребтов ЮВ Алтая; асимметричное строение большинства хребтов, определяющих большую площадь ледосборов ледников северной экспозиции; концентрация твёрдых осадков на северо-восточных подветренных склонах. Сходное распределение современных, голоценовых и позднеплейстоценовых ледников свидетельствует о формировании современной ороклиматической зональности и дефиците осадков на этой территории уже с начала позднего плейстоцена [1].

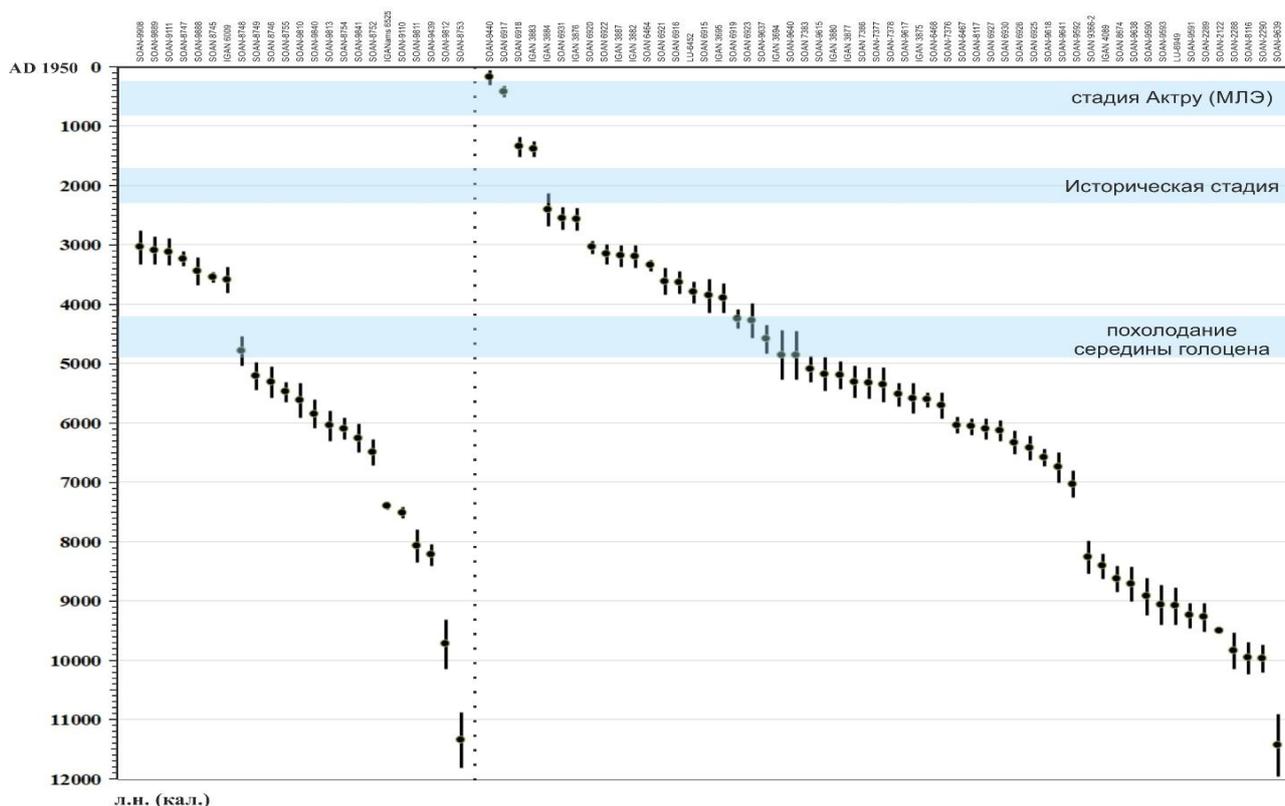
Вплоть до начала текущего столетия вследствие малого количества численных датировок моренных отложений история голоценового оледенения Алтая реконструировалась, главным образом, по положению древних конечных морен относительно современных ледников, их абсолютной высоте и расчетам депрессии снеговой линии, визуальным оценкам сохранности первоначальной формы моренных валов, их задернованности и залесенности. В то же время в последние десятилетия сложилась уникальная ситуация. Современное отступление ледников и деградация льда в моренах приводят к вытаиванию большого количества фрагментов погребенной древесины, что делает

возможным массовое радиоуглеродное датирование и использование дендрохронологического анализа. С использованием этих методов нами ранее были изучены изменения положения верхней границы леса, связанное с подвижками ледников, и заселение древесной растительностью зоны современного оледенения троговых долин в хребтах Катунский, Чихачёва, Северо- и Южно-Чуйский [2-4]. За прошедшее после выхода этих публикаций время в научный оборот введено большое количество новых данных, позволяющих уточнить полученные ранее выводы.

### Результаты и выводы

Анализ имеющегося в настоящий момент массива геохронологических данных (новых и полученных ранее) для верховьев троговых долин хребтов ЮВ Алтая (рис. 1) позволяет сделать несколько важных выводов.

Прежде всего, можно с уверенностью утверждать, что в наиболее высокогорной части Русского Алтая уже к началу голоцена наблюдалась значительная деградация последнего плейстоценового оледенения (сартанского в стратиграфических схемах Западной Сибири, MIS-2 по шкале SPECMAP).



**Рисунок 1.** Климатически обусловленная динамика горно-долинного оледенения ЮВ Алтая в голоцене по результатам радиоуглеродного датирования фрагментов палеодревесины и палеопочв в верховьях троговых долин. Новые радиоуглеродные даты (слева), полученные в долине р. Аккол, Южно-Чуйский хр., и ранее опубликованные [5], полученные после публикации первого обзора [4]

Около 11.3-11.4 тыс. л.н. не только лиственница (*Larix sibirica* Ledeb), но и более теплолюбивый кедр (*Pinus sibirica* DuTour) осваивают склоны долин Катунского хребта на высотах 2600-2700 м н.у.м., что на 100-200 м выше современной верхней границы распространения древесной растительности и на 300-500 м выше современной верхней границы леса. В период 9.3-10 тыс. л.н. помимо Катунского хребта присутствие древесной растительности значительно выше современной границы леса фиксируется также на склонах ныне абсолютно безлесных массива Монгун-Тайга и хребта Чихачёва. В хребте Чихачёва лес произрастал вплоть до 7.4 тыс. л.н. Небольшие лесные массивы существовали и в зоне современного оледенения Южно- и Северо-Чуйского хребтов.

Эти данные опровергают ранние представления о голоценовых подвижках ледников как активизациях на фоне постепенного распада позднеплейстоценового оледенения [6,7]. Очевидно, что потепление в начале голоцена было значительно более длительным и сильным, чем наблюдаемое в настоящее время – ледники были меньше современных, быстро отступающих, ледников, а, возможно, частично или даже полностью исчезли. Освободившееся ото льда пространство заселялось древесной растительностью. Отметим, что это раннеголоценовое потепление, в отличие от современного, не имело антропогенной составляющей и было вызвано исключительно природными факторами.

Радиоуглеродные даты многочисленных фрагментов древесины, найденных в зоне современного оледенения и на склонах троговых долин выше верхней границы распространения древесной растительности, свидетельствуют о том, что стадияльные подвижки горно-долинных ледников ЮВ Алтая происходили в середине голоцена (4.9-4.2 тыс. л.н.), в Историческую стадию (2.3-1.7 тыс. л.н.) и стадию Актру (МЛЭ 13-19 вв.). Наиболее дискуссионным вопросом к настоящему времени является масштаб продвижения ледников в ходе похолодания середины голоцена. Ответ на него был получен в результате сопряженного пространственно-временного анализа морен и почв (погребенных и дневных) в верховьях долины р. Аккол, Южно-Чуйский хребет.

Не перекрытые моренными отложениями среднеголоценовые почвы в верховьях долины Аккола, а также погребенные флювиальными и склоновыми отложениями линзы гумусированного материала возрастом 5.1-5.9 тыс. л.н. непосредственно ниже морены Исторической стадии позволяют сделать вывод о том, что в случае наступания около 4.9-4.2 тыс. л.н. ледники ЮВ Алтая были близки по размерам либо меньше ледников Исторической стадии. Такой сценарий динамики оледенения ЮВ Алтая более близок к реконструкциям оледенения других горных систем мира.

Особенностью голоценового оледенения ЮВ Алтая, как и некоторых других горных систем Центральной Азии, является то, что размеры ледников в Малую ледниковую эпоху (стадия Актру) были меньше, чем в предшествующую стадию, что обусловлено прогрессирующей аридизацией климата. Этот вывод подтверждается тем фактом, что термический минимум середины 19 века, наибольший за тысячелетие, не оказал положительного влияния на баланс массы ледников. С 1898 года, когда В.В. Сапожниковым были открыты многие ледники ЮВ Алтая, они испытали кратковременное стационарирование лишь в 1910 гг. и середине 20 века, отступая со средней за столетие скоростью около 10-18 м/год. Исследование проведено при поддержке РФФ (грант 22-27-00447).

### Литература

1. Агатова А.Р. Геоморфологическое картирование бассейна реки Чаган-Узун - ключ к реконструкции истории оледенений Юго-Восточного Алтая // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2005, Т.13, № 6, с.101-112.
2. Назаров А.Н., Агатова А.Р. Динамика ледников Северо-Чуйского хребта на Центральном Алтае во второй половине голоцена // Материалы гляциологических исследований, 2008, вып.105, с.73-86.
3. Назаров А.Н., Соломина О.Н., Мыглан В.С. Динамика верхней границы леса и ледников Центрального и Восточного Алтая в голоцене // Доклады Академии наук, 2012, Т.444, № 6. - с.671-675.
4. Agatova A.R., Nazarov A.N., Nepor, R.K., Rodnight H. Holocene glacier fluctuations and climate changes in the south-eastern part of the Russian Altai (South Siberia) based on a radiocarbon chronology // Quaternary Science Reviews, 2012, 43. - p.74-93.
5. Agatova A., Nepor R., Nazarov A., Ovchinnikov I., Moska, P. Climatically driven Holocene glacier advances in the Russian Altai based on radiocarbon and OSL dating and tree ring analysis // Climate, 2021, 9(11), 162.
6. Девяткин Е.В. Кайнозойские отложения и неотектоника Юго-Восточного Алтая. Труды ГИН АН СССР, Вып. 126. М.: Наука, 1965, - 243 с.
7. Окишев П.А. Динамика оледенения Алтая в позднем плейстоцене и голоцене. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1982. - 210 с.

УДК 55. 551.4

## УНИКАЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ ГЕОНАСЛЕДИЯ И ГЕОТУРИЗМА БАССЕЙНА РЕКИ ЧИЛИК (СЕВЕРНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ, КАЗАХСТАН)

**Нигматова С.<sup>1</sup>, Бекботаева А.<sup>2</sup>, Пирогова Т.<sup>1</sup>, Калибек Б.<sup>1</sup>**  
**ТОО «Институт геологических наук имени К.И. Сатпаева»<sup>1</sup>,**  
**(г. Алматы, Казахстан)**  
**Институт геологии и нефтегазового дела имени К. Турысова<sup>2</sup>,**  
**(г. Алматы, Казахстан)**

*Аннотация.* Ледники, сформированные в высокогорье аридной зоны Центральной Азии, являются не только «кладовыми» пресной воды, факторами, влияющими на климат региона, но и уникальными объектами геонаследия, сохраняющие свидетельства новейших

тектонических и сейсמודинамических процессов. Специфические формы рельефа, создаваемые ледниками, неповторимые по красоте и суровости нивально-гляциальные высокогорные ландшафты все чаще становятся объектами геотуризма.

**Ключевые слова:** ледники, климат, геонаследие, ландшафт, геотуризм, Челек, Заилийский Алатау, Юго-Восточный Казахстан.

## UNIQUE OBJECTS OF GEOHERITAGE AND GEOTOURISM OF THE CHILIK RIVER BASIN (NORTHERN TIEN SHAN, KAZAKHSTAN)

S. Nigmatova<sup>1</sup>, A. Bekbotaeva<sup>2</sup>, T. Pirogova<sup>1</sup>, B. Kalibek<sup>2</sup>  
*Satpaev Institute of Geological Sciences<sup>1</sup> (Almaty, Kazakhstan)*  
*Institute of Geology and Oil and Gas K. Turysova<sup>2</sup> (Almaty, Kazakhstan)*

**Annotation.** *Glaciers formed in the highlands of the arid zone of Central Asia are not only "storehouses" of fresh water, factors affecting the climate of the region, but also unique objects of geoheritage, preserving evidence of the latest tectonic and seismodynamic processes. Specific landforms created by glaciers, nival-glacial alpine landscapes, unique in their beauty and severity, are increasingly becoming objects of geotourism.*

**Keywords:** *Glaciers, climate, geo-heritage, landscape, geo-tourism, Chelek, Zaili Alatau, South-Eastern Kazakhstan.*

### О сохранении геонаследия

Национальное достояние любой страны, в числе прочего, составляют памятники природы, культуры, истории. К памятникам природы относят объекты живой и неживой природы, научное, учебно-просветительское, историко-мемориальное и эстетическое значение которых настолько велико, что мировое сообщество обеспокоено защитой и учетом этих объектов, их сохранением для будущих поколений в нетронутом, первозданном виде. К памятникам неживой природы относятся и геологические объекты: опорные разрезы, разломы, складки, обвалы, палеовулканы, метеоритные кратеры, ярко выраженные горные породы и минералы, палеонтологические находки, ледники, петроглифы, древние вулканы, пещеры и многое другое, что составляет совокупность творений природы, позволяющих проследить историю развития историю Земли за миллионы лет.

Сейчас, когда эпоха сырьевой экономики завершается и фонд многих месторождений полезных ископаемых практически исчерпан, все больше внимания обращается на новые неиндустриальные направления развития экономики, таких как геотуризм, основанный на посещении, изучении и сохранении уникальных по геологической и ландшафтной ценности объектов геонаследия.

Однако, усиление интереса к геологическим объектам имеет и свои отрицательные стороны. Бесконтрольное посещение многих памятников природы ведет к их утере: ради красивых образцов разрушаются обнажения с ископаемой фауной и флорой; вывозятся образцы поделочных и драгоценных

камней; ландшафт нарушается горами мусора, кострищами. Вопросы охраны и сохранения геологического наследия являются актуальными как никогда ранее, поскольку за последние годы значительно выросло оснащение туристов и туристических групп и многие ранее недоступные для неспециалистов районы стали весьма посещаемыми, а геологические объекты стали объектами хищнического разрушения и перепродажи.

В 1972 году была создана Конвенция об охране всемирного культурного и природного наследия, согласно которой государства, подписавшие ее, признают, что объекты, расположенные на их территории и внесенные в Список всемирного наследия, без ущерба для национального суверенитета или государственной собственности составляют всемирное наследие, «в охране которого все международное сообщество обязано сотрудничать» (Аубекеров, 1991). Таким образом, учет и охрана геологических памятников становится важнейшей задачей мирового геологического сообщества.

Казахстан активно включился в процесс сохранения объектов геонаследия с 20-ых годов прошлого века. Именно тогда в горах Каратау (Южный Казахстан) был открыт первый палеонтологический заповедник «Юрское Каратауское озеро».

В настоящее время по заказу Комитета геологии РК проводится работа по программе «Составление кадастра и атласа памятников геологической природы Республики Казахстан, как научная основа рационального природопользования» в ходе выполнения которой предусмотрена каталогизация всех объектов геонаследия, их описание, мониторинг современного состояния и др.

Одним из интереснейших районов в Юго-Восточном Казахстане, где представлено большое геологическое разнообразие ледниковых отложений является бассейн реки Чилик (Шилек).

#### **Ледники бассейна реки Чилик**

Верхнее течение р. Чилик занимает продольную долину между хребтами Заилийского Алатау и Кунгей Алатау. Площадь оледенения распределяется почти поровну на каждый из этих хребтов. Часть ее представлена общим для того и другого хребта ледником Жангырык (Джангырык). С отнесением одной трети последнего к Заилийскому Алатау общие размеры оледенения на северной стороне бассейна Чилик, принадлежащей Заилийскому Алатау, составит 141 км<sup>2</sup>. На этой территории насчитывается более 41 ледника (Оледенение Тянь-Шаня, 1995). Основное оледенение приурочено к восточным склонам главного хребта. Здесь сосредоточены самые мощные ледники - Корженевского, Богатырь, Жангырык. Площадь только первых двух из них со своими притоками и фирновыми полями составляет около 75% от всего оледенения северной части бассейна Чилика. Эти два ледника гиганта (по местным масштабам) являются,

так же, как и другие ледники Заилийского Алатау, остатками более значительных ледников прошлого. Возможно, что еще в историческое время они соединялись вместе, а в еще более раннем периоде до них достигал и ледник Жанрыгык.

Ледник Жангырык, протяженностью 8,0 километров, имеет площадь 17,7 квадратных километров, расположен на высоте от 3370 до 4520 метров над уровнем моря. Он занимает головную котловину, разделенную отрогами гор на два больших резервуара.



**Рисунок 1.** Схема бассейна и космоснимок бассейна реки Чилик (Шелек)

Свое берет начало с юго-восточных склонов Заилийского Алатау, с восточных склонов Чилико-Кеминской перемычки и северо-восточных склонов

хребта Кунгей Алатау. На левой стороне его задней стены цирка возвышается пик Конституции, а на правой (уже на гребне Кунгей Алатау) - вершина высотой 4775 м. Ледник состоит из двух ветвей - левой (западной) и правой (южной) (Каталог ледников, 1968).

Левая главная ветвь направлена на восток. Она вытекает из шестикамерного цирка, за задними стенами которого расположены верховья р. Чонгкемина. Правая ветвь берет начало из трехкамерного цирка, задняя стена которого несет наиболее высокие вершины. Верхнее течение этой ветви направлено на север, а нижнее - на восток - северо-восток.

Ледник Жангырык удивительно живописен: белоснежные шапки снега сползают в его цирк с отлогих круглых сопок. Иногда на заснеженных склонах гор выступают обнаженные скалы. Широкие фирновые поля плавно тянутся к гребню хребта. К левой ветви ледника спускаются с боковых склонов гор три потока: два слева и один справа. К правой ветви подходят с левой стороны два притока. В долину язык спускается тремя крутыми террасами. Кроме главного ледника и пяти притоков его обеих ветвей, в верховьях р. Жангырык находится еще шесть небольших ледников.



**Рисунок 2.** Ледник Южный Жангырык  
фото М. Каймирасова

([http://www.paleokazakhstan.info/shelek\\_jan.php](http://www.paleokazakhstan.info/shelek_jan.php))



**Рисунок 3.** Ледник Южный Жангырык.  
Фото А. Бабкина,

([http://www.paleokazakhstan.info/shelek\\_jan.php](http://www.paleokazakhstan.info/shelek_jan.php))

Ледник **Корженевского** является самым крупным в Заилийском Алатау. Он занимает обширную площадь в истоках р. Южный Иссык между отрогом Южным Иссыкским и главным хребтом, который огибает ледник с тыла и с левой стороны.

Ледник Корженевского - долинный, он питается снегами самой высокой части главного хребта, где находится Талгарский пик.

Средняя высота части гор, несущих на себе фирновые поля ледника, составляет приблизительно 4500 м. Открытый конец языка спускается до высоты 3300 м. Длина ледника около 11,2 км, площадь - около 38 км<sup>2</sup>.

Верховья ледника расположены в четырех фирновых бассейнах. Все задние стены цирков представляют сплошное снежное поле, наклоненное под углом 25-30° и местами разорванное под тяжестью осевших масс. Вид фирновых бассейнов вместе с громадами окружающих гор является одним из самых величественных во всем Заилийском Алатау.



Рисунок 4. Ледник Корженевского. Фото В. Наврезова

Каждый из фирновых бассейнов дает свою ветвь леднику. Две средние ветви начинаются из четырех камер от Талгарского пика. Левая ветвь, имеющая длину до 8 км и ширину более 1 км, отходит от вершин Копыр и Metallург. Имея первоначальное направление на юго-восток, она постепенно делает дугообразный поворот и с экспозицией на юг подходит к средней ветви, от которой в верхнем течении ее отделяет отрог, отчленяющий от вершины Восточный Талгар. От конца этого отрога по леднику тянется левая срединная морена. Правая ветвь, имеющая длину до 5 км и ширину до 4 км, берет начало от обращенного к востоку склона главного хребта, где выделяются две сплошь заснеженные вершины с высотами более 4600м: в юго-западном углу это вершина Всеобуч (4650 м), от которой начинается отрог Иссыктекшоку, и в центре - вершина Белый пик. Вначале ветвь течет на восток, где, встретив боковой отрог, поворачивает на юг. Местами, особенно вблизи фирновой линии, она изрезана трещинами, которые в верхней части правой ветви образуют лабиринт, а на левой ветви - ледопады.

Ледник в верхней части течения несет на себе четыре срединных голоценовых морены. Две из них сливаются затем в одну. По языку ледника в глубоком каньоне бурно мчится главный поток талых вод.

#### **Объекты геонаследия сейсмостектонического типа бассейна реки Чилик**

Долина р. Чилик пересекает ряд высотных поясов от высокогорной гляциально-нивального и высокогорно альпийского до низкогорного. Долина

имеет ледниково-эрозионное происхождение. Наиболее древний раннечетвертичный возраст имеет продольный участок долины от истоков до коленообразного изгиба и поворота на север. Об этом свидетельствует комплекс высоких террас (до 7 уровней в расширениях долины) и остатки разновозрастных троговых участков. Верхнечетвертичный трог прослеживается до конечного вала морены Аралтюбе на расстояние около 25км от истоков реки. Остатки более древних трогов среднечетвертичного долинного оледенения наблюдаются в пределах всего широтного отрезка долины. Поперечный участок долины р. Чилик является молодым (Q<sub>II-IV</sub>, до четырех террасовых уровней). Он образовался вследствие регрессивной эрозии и перехвата древнего Чилика, впадавшего ранее в Жаланашское озеро.

Природные ресурсы бассейна р. Чилик, чрезвычайно разнообразны – это и обилие пресных поверхностных и подземных вод, огромные потенциальные запасы влаги в многочисленных ледниках и фирновых полях; богатые черноземные почвы с альпийскими лугами, лесные угодья в среднегорной зоне; месторождения строительного камня и еще не разведанных других полезных ископаемых (золото, полиметаллы и т.п.); ирригационные и гидроэнергетические ресурсы р. Шилек (крайние отметки продольного профиля – 3500 и 900м) и его крупных левых притоков; рекреационные ресурсы, обусловленные живописностью бассейна (фирновые поля и ледники, хвойный лес, ледниковые и моренные озера, горные озера с завальными плотинами на реках Каинды и Кольсай и др.).

Верховья Чилика входят в пределы Северо-Тянь-Шаньской сейсмической области. Здесь имели место крупнейшие землетрясения Центральной Азии. В 1889 г. произошло Чиликское землетрясение силой в 10-11 баллов, вызвавшее значительные нарушения земной поверхности в восточной части Заилийского и Кунгей Алатау. Особенно большую площадь охватило землетрясение в декабре 1910 г. (12 баллов), имевшее эпицентр в районе Чилико-Кеминской перемычки и вызвавшее колоссальные обвалы и оползни в горах (Богданович, 1914). Увидеть последствия этих землетрясений в виде обвальных озер можно также в верховьях реки Чилик.

Огромный научно-исследовательский и туристический интерес представляют собой высокогорные озера, расположенные в Национальном природном парке Косльсайские озера (*Көлсай көлдері*) – это система из трёх озёр в ущелье Кольсай, которые по праву считаются «жемчужиной Северного Тянь-Шаня». Наполненные чистой водой, стекающей с ледников, окруженные лесами из Тянь-Шаньской ели, они привлекают к себе тысячи туристов круглый год.

Река Кольсай берет свои истоки с ледников, расположенных на горных хребтах Кунгей-Алатау, протекая по тектоническому разлому, образовавшемуся в четвертичное время, она по очереди впадает в три озера (Верхний Кольсай на высоте 2850 м, Среднее Кольсайское озеро (Мынжылгы) - находится на высоте 2252 м, Нижнее озеро находится на высоте 1818 м). Глубина озер в среднем достигает 50 м. (Ахметов, 2012)

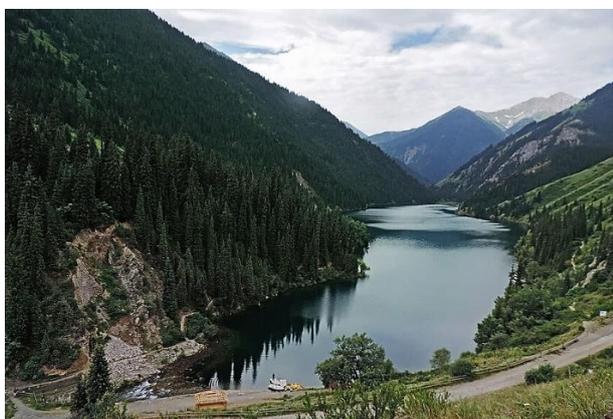
Благодаря близости ледников климат в районе Кольсайских озер влажный континентальный, прохладный. Здесь наблюдаются значительные колебания температуры, как суточные, так и сезонные, с мягким летом и холодной зимой. В июле температура может колебаться от 30 °С днем до -5 °С ночью.



**Рис. 5** – Верхнее Кольсайское озеро



**Рис. 6** – Среднее Кольсайское озеро



**Рис. 7** – Нижнее Кольсайское озеро



**Рис. 8** – Ущелье, по которому протекает р. Кольсай, соединяя озера

Интересные объекты геонаследия, свидетельствующие о сложной геологической истории района в неоген-четвертичное время расположены в долине реки Саты, являющейся одним из притоков Чилика. Здесь установлено местонахождение неогеновой фауны, несколько морен (Аубекеров и др. 2005), следы сейсмообвалов, а также у села Саты находится живописное озеро Каинды.

Озеро в ущелье Каинды образовалось также в результате обвала, вызванном Кеминским землетрясением в 1911 году. Эпицентральная зона землетрясения

включала южные склоны гор Заилийского Алатау и северные склоны Кунгей Алатау с долиной реки Кебин. В результате обвала огромной массы горных пород, перегородившей ущелье, образовалась естественная дамба. С течением времени воды р.Каинды залили часть ущелья и спустя какое-то время образовалось озеро с затопленным лесом внутри. В конце 1980-х годов глубина озера уменьшилась после прохождения селевого паводка. В водоем попало много грязи, мусора и камней - вода стала мутной. В феврале 2007 г был принят указ о создании национального парка, к территории которого относится и озеро Каинды (Ахметов и др., 2012).



**Рисунок 9.** Озеро Каинды

Озеро находится на высоте 1667 м над уровнем моря. Длина озера около 400 м. Озеро окружено осыпными каменистыми склонами и крутыми скалами. Выше озера - скальный тупик.

В горном озере вода довольно чистая и прозрачная. В водоеме сохранились подводные лесные массивы, что создает уникальные по своей красоте водные пейзажи. Поэтому многие туристы приезжают к Каинды для дайвинга. Местонахождение миоцен-плиоценовой фауны и флоры Саты расположено рядом с поселком Саты.

Впервые костные остатки обнаружены здесь в 1956 г О. В. Бажановым и М. Д. Бирюковым и приурочены к санташской свите неогена (Байшашов и др., 2021). По определению В.С. Бажанова установлены костные остатки: *hyaenictitherium hipparionum*; *Cervidae*; *Gazella* sp.; *Rhinocerotidae* gen. Indet., а возраст фауны определен как средне-позднемиоценовый. Однако позже, фауна датирована как среднеплиоценовая (Бирюков, Воскобойников, Савинов, 1968), а вид *Gazella* sp. был описан как новый вид *Lagomeryx satensis* Musakulova, 1972, существовавший в среднем-позднем миоцене.



**Рисунок 10.** Местонахождение ископаемой флоры и фауны Саты.

Выше по разрезу обнаружены отпечатки растений, которые были распространены как в олигоцене, так и в миоцене (Корнилова, 1961): *Phragmitesoeningensis*, *Poacitescf. angustur*, *Cyperites* sp., *Cypertites* cf. *paucinervis*, *Typhalatis sima*, *Monocotyledoneae* gen.sp., *Populus* sp., *Ulmus carpinoinoides*, *Ulmus longifolia*. По мнению автора, чаще всего они характерны для миоцена. Еще выше флороносного горизонта найдены кости лошади стенона и овернского мастодонта, которые показывают позднеплиоценовый возраст. Видимо, здесь присутствуют два разновозрастных костеносных слоя, один позднемиоценовый, MN 11, другой – позднеплиоценовый MN 17.

### **Заключение**

Ледники и процессы, связанные с ними, являются объектами геонаследия, раскрывающими картину развития горной страны, неоген-четвертичные этапы становления горно-долинного оледенения и формирования аридной зоны Центральной Азии в ее современном виде. Появлению горного оледенения в горах Северного Тянь-Шаня способствовала активизация неотектонических движений, а также похолодание климата в четвертичное время. В конце неогена, на фоне низкогорного рельефа, еще сохранялся влажный и теплый климат, с характерной фауной и флорой. С началом интенсивных тектонических движений и ростом горной системы, появилось первое горное оледенение в интервале 1,8 млн. лет. В предгорной области, в холодных условиях эпохи оледенения, развиваются холодные пустыни. Это один из ключевых моментов начала формирования аридной зоны в Казахстане (Аубекеров, 1990, Нигматова и др. 2009). Поднявшиеся на большую высоту (более 5000 м) хребты Азиатского горного пояса (Костенко, 1978) обусловили прекращение влияния южных влажных муссонов и способствовали развитию пустынь.

Первым свидетельством этих преобразований в природе является появление в аридных регионах специфических отложений, таких как мощные толщи эоловых лессов, накопившихся в предгорной зоне за счет интенсивного выноса

пыли из зоны пустынь, аналогов верхнегобийских конгломератов, имеющих широкое распространение в Казахстане, Китае, Монголии и др., появление песчаных, каменистых и глинистых пустынь.

Следующий этап связан с формированием высокогорных районов и мощных конусов выноса в горных регионах. На равнинах аридной зоны формируется близкая к современной широтная ландшафтно-климатическая зональность.

### Литература

1. Аубекеров Б.Ж. Континентальные четвертичные отложения Казахстана (стратиграфия, палеогеография, корреляция). - Дисс. на соиск. уч. ст. д. г.-м. н., А-Ата, 1991 г. – 404 с.
2. Аубекеров Б.Ж., Нигматова С.А., Геоморфологическое строение бассейна р. Саты// Вестник КазГУ, серия географическая. – Алматы – 2005. № 2 (21).- С. 51-58
3. Ахметов А.А., Поздеев А.Г., Бобров Р.Ф. Путеводитель по Алматинской области – Алматы: Эффект, 2012. – 288 с.
4. Байшашов Б.У., Нигматова С.А. Каталог опорных и типовых разрезов мезозоя и кайнозоя Юго-Восточного и Восточного Казахстана. – Алматы: ИД Альманах. – 2021 – 93с.
5. Бирюков М. Д., Воскобойников М.Е., Савинов П.Ф. К стратиграфии неогена Казахстана // Изв. АН КазССР. Сер. геол. - 1968. - №.2. - С.11-20.
6. Богданович К.И., Карк И.М., Корольков В.Ю., Мушкетов Д.И. Землетрясение в северных цепях Тянь-Шаня, 22 декабря 1910 (4 января 1911) – СПб. – 1914. – 270 с.
7. Вилесов Е.Н., Уваров В.Н. Эволюция современного оледенения Заилийского Алатау в XX веке. – Алматы: КазГУ, 2001. – 252 с.
8. Каталог ледников СССР. Том 13. Центральный и Южный Казахстан. – Вып. 2. Бассейн оз. Балхаш. – Ч. 2. – Река Чилик. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 52 с.
9. Корнилова В. С. Растительные остатки из неогеновых отложений Кунгей Алатау // Материалы по истории фауны и флоры Казахстана. - 1961. - Т.3. - С. 74-93.
10. Костенко Н.Н. Четвертичные отложения Казахстана и прилегающих территорий союзных республик. М. - 1978. - 157 с.
11. Нигматова С.А., Аубекеров Б.Ж. К вопросу о формировании аридной зоны в Казахстане// Вестник КазНТУ. - 2009, №6. - С.14-17.
12. Оледенение Тянь-Шаня. // Под ред. М.Б. Дюргерова. М.- 1995, с. 131-168.
13. Пальгов Н.Н. Современное оледенение в Заилийском Алатау. – Алма-Ата, АН КазССР, 1958. – 312 с.

УДК 551.324.433

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОМПОНЕНТОВ СТОКА РЕК ПАМИРА И ПАМИРО-АЛАЯ В МАЛОВОДНЫЕ И СРЕДНИЕ ПО ВОДНОСТИ ГОДЫ

Ниязов Д.Б.<sup>1</sup>, Калашникова О.Ю.<sup>2</sup>

*Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии, Национальная академии наук Таджикистана (г. Душанбе, РТ)*

*Центрально-Азиатский Институт прикладных исследований Земли (г. Бишкек, КР)*

*niyazovjafar@mail.ru*

**Аннотация.** В работе приведена оценка талого снегового и ледникового стока рек Памира и Памиро-Алая (территория Таджикистана) за современный период 2000-2020 годов. Особый интерес представляла оценка ледникового стока рек в малоснежные и маловодные годы. Основным методом, применяемым для расчета компонентов стока, - широко используемый метод генетического вертикального расчленения гидрографа с применением данных наземных гидрометеорологических наблюдений. Статья имеет как научно-исследовательское, так и практическое значение для перспективного планирования и интегрированного управления водными ресурсами.

**Ключевые слова:** компоненты стока, ледниковый сток, горы Памира и Памиро-Алая, бассейн реки Амударья, спутниковые снимки MODIS.

## COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE PAMIR AND PAMIR-ALAI RIVERS RUNOFF COMPONENTS IN DRY AND MEDIUM WATER YEARS

Niyazov D.B.<sup>1</sup>, Kalashnikova O.Yu.<sup>2</sup>

*Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology National Academy of Sciences of Tajikistan (Dushanbe, RT)*

*Central Asian Institute for Applied Geosciences (Bishkek, Kz)*

**Annotation.** The paper presents an assessment of the snowmelt and glacial runoff of the Pamir and Pamir-Alay rivers (territory of Tajikistan) for the modern period of 2000-2020. The assessment of the glacial runoff of rivers in years with little snow and low water was particularly interesting. The method of genetic vertical subdivision of a hydrograph using data from ground-based hydrometeorological observations is the main widely used method used to calculate runoff components. The paper has both research and practical significance for long-term planning and integrated water resources management.

**Keywords:** runoff components, glacial runoff, Pamir & Pamir-Alay Mountain, Amudarya River basin, MODIS satellite images.

### Введение

Средний объем годового стока реки Амударьи составляет около 78 км<sup>3</sup>, при этом, на территории Таджикистана формируется около 80 % всего речного стока. В народном хозяйстве Таджикистана 82 % водных ресурсов реки Амударья используются в сельском хозяйстве, 8,7 % - в промышленности и 8,1 % - на бытовые нужды [1].

Средняя высота горной системы Памира и Памиро-Алая составляет около 4500 - 5000 м.н.у.м. с отдельными вершинами выше 7000 м.н.у.м. Такое высокогорное положение водосбора определяет особенности и условия формирования стока рек. Талые воды ледников и фирновых полей составляют 25% объема стока рек Таджикистана и сглаживают колебания стока рек между сухими и дождливыми периодами в сухие и жаркие годы, когда доля ледникового стока достигает 50% и более [2].

Глобальное потепление климата привело к сокращению площади оледенения в бассейне реки Амударья. Использование информации спутниковых изображений LANDSAT 7 и TERRA по расчетам Коновалова В.Г., показало, что в 2000 году площадь оледенения в верховье реки Амударья сократилась на 20 % и, по его прогнозам на 2025 год сократиться еще на 6 % от площади оледенения 1961 года [3].

Целью данной статьи является оценка ледникового и талого снегового стока рек Памира и Памиро-Алая (территория Таджикистана) за современный период. Наибольший интерес представляло изучение ледникового стока в маловодные и малоснежные годы, когда отмечался недобор осадков в зимний период. Исследование современного состояния талого снегового и ледникового стока рек Памира и Памиро-Алая актуально для перспективного планирования и управления водными ресурсами в водохозяйственной и гидроэнергетической отраслях Таджикистана.

#### **Объекты и методы исследования**

Объектами исследования выбраны 6 речных бассейнов с различной степенью оледенения, расположенных в области формирования стока Северо-Таджикского, Зеравшанского, Северо-Памирского и Центрально-Южно-Таджикского гидрологических районов [4]. В статье были использованы данные по 6-и метеостанциям и 6-и гидропостам Таджгидромета за период с 1940 по 2019 годы [5, 6]. Основные характеристики речных бассейнов в таблице 1.

Метод вертикального расчленения гидрографа в целях определения основных компонентов стока рек был проведен на основе данных о суточных расходах воды и средних суточных температурах воздуха выбранных репрезентативных метеостанций для периода с 2007 по 2019 годы.

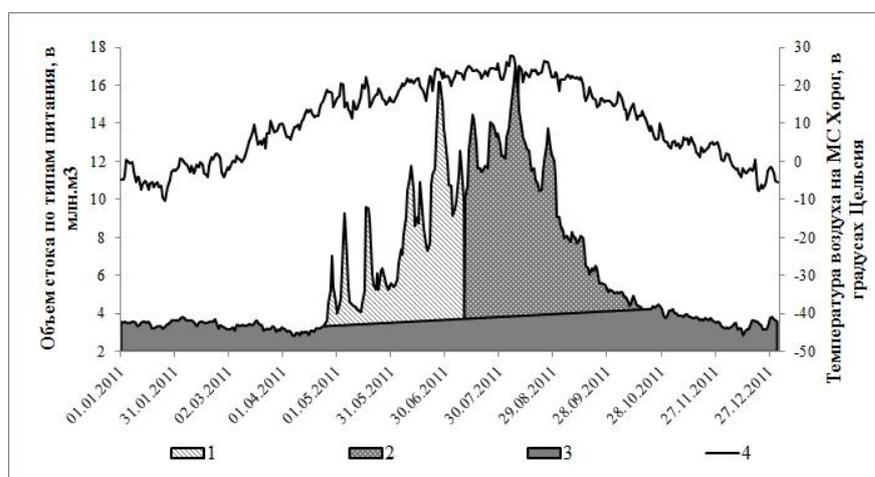
Таблица 1.

**Основные сведения о характеристиках исследуемых речных бассейнов  
Памира и Памиро-Алая до пункта наблюдений\***

№	Название гидропоста	Площадь водосбора в км <sup>2</sup>	Средняя высота водосбора в м.н.у.м.	Площадь ледников		Средний годовой расход воды в м <sup>3</sup> /с
				в км <sup>2</sup>	в процентах	
1	р.Вахш – Дарбанд к.Комсомолабад	29500	3600	3243	11	616
2	р.Гунт – г.Хорог	13700	4170	360,3	2,6	104
3	р.Ванч – к. Ванч	1920	3780	255,1	13	51,0
4	р.Зерафшан –к. Худгиф-Боло	1100	3700	358	33	25,0
5	р.Фандарья-устье	3230	3270	124	3,8	53,4
6	р.Варзоб – к.Дагана	1270	2670	40,0	3,0	49,3

\*- Площадь ледников по данным Каталога ледников СССР за 1969-1980 г.г. [3].

В статье были представлены результаты расчетов изменения основных компонентов стока (талого снегового и ледникового, грунтового питания) за современный период, рассчитанных с использованием метода вертикального расчленения гидрографа по методике З.В. Джорджио, А.Н. Диких и Л.В. Бажановой [7-9]. Пример вертикального расчленения гидрографа на реке Гунт за маловодный 2011 год, представлен на рис. 1. Дождевое питание авторами не рассчитывалось, т.к. в бассейнах рек Памира и Памиро-Алая оно не существенно и составляет около 1-3 % от годового стока [10].



**Рисунок 1.** Расчленение гидрографа р. Гунт – г. Хорог. 1 – талый снеговой сток, 2 – талый ледниковый сток, 3 – грунтовой (базисный) сток, 4 – температура воздуха на МС Хорог.

## Результаты исследований

Определение дат начала и окончания половодья, окончания таяния сезонного снежного покрова и начала таяния ледников были проведены для двух средних по водности лет и одного маловодного года, выбранных за период с 2007 по 2019 годы. Следует обратить внимание на то, что для реки Вахш – с. Дарбанд (Комсомолабад) за маловодный год был принят 1986 год, т.к. в период с 2007 по 2019 годы и ранее (до 1986 года маловодных лет не отмечалось). Результаты расчетов проведенных авторами приведены в таблице 2.

На всех реках начало половодья, связанное с повышением температуры воздуха и началом таяния сезонного снега значительно, варьирует. На реке Варзоб оно наблюдается в феврале-марте, Фандарья - в марте, Вахш – в конце марта-начале апреля, Зеравшан – в апреле, Ванч - в апреле-начале мая и Гунт - в конце апреля-в мае.

**Таблица 2.**

### Объем основных компонентов стока, их доля в годовом стоке рек, период таяния сезонного снега и ледников на реках Памира и Памиро-Алая.

Годы	Объем стока основных источников питания						Сумма осадков октябрь-апрель в мм / в % от нормы
	Грунтовый сток		Талый снеговой сток		Талый ледниковый сток		
	млн.м <sup>3</sup>	%	млн.м <sup>3</sup>	%	млн.м <sup>3</sup>	%	
<b>р. Вахш – с.Дарбанд</b>							
1986 мл.	6580	42	3495 (11.04-10.07)	22	5548 (11.07-21.10)	36	165 / 90
2011 ср.	7439	38	5518 (23.03-13.07)	28	6560 (14.07-23.11)	34	120 / 65
2016 ср.	7912	39	6291(29.03-11.07)	31	6199 (12.07-21.10)	30	165 / 90
<b>р. Варзоб – с.Дагана</b>							
2018 мл.	456	37	502 (24.02-25.06)	41	276 (26.06-07.10)	22	200 / 43
2012 ср.	453	28	750 (14.03-28.06)	47	398 (29.06-26.09)	25	517 / 119
2016 ср.	516	35	714 (26.02-28.06)	48	266 (29.06-29.09)	18	533 / 115
<b>р. Фандарья – устье (с.Пете)</b>							
2014 мл.	574	41	500 (30.04-07.07)	36	326 (08.07-28.09)	23	127 / 65
2012 ср.	562	34	482 (08.04-30.06)	29	603 (01.07-07.10)	37	218 / 118
2015 ср.	582	35	487 (23.04-28.06)	29	583 (29.06-15.10)	35	229 / 117
<b>р. Зеравшан – к.Худгиф</b>							
2009 мл.	223	45	66 (30.04-09.07)	12	213 (10.07-21.11)	43	152 / 95
2007 ср.	303	40	107 (11.04-28.06)	14	355 (29.06-23.11)	46	182 / 114
<b>р. Ванч – с.Ванч</b>							
2013 мл.	597	42	267 (02.05-12.07)	19	573 (13.07-02.11)	40	72 / 73
2014 мл.	574	38	304 (24.04-06.07)	20	631 (07.07-20.10)	42	55 / 56
2010 ср.	775	39	449 (13.04-12.07)	22	787 (13.07-12.10)	39	113 / 115
<b>р. Гунт – г.Хорог</b>							
2011 мл.	1220	55	359 (23.04-10.07)	16	645 (11.07-20.10)	29	99 / 40
2012 ср.	1649	51	961 (26.05-22.07)	30	596 (23.07-06.10)	17	345 / 139
2016 ср.	1471	47	1148 (08.05-20.07)	36	530 (21.07-11.10)	17	189 / 76

Начало ледникового таяния наблюдается на реке Варзоб в конце июня, Фандарья и Зеравшан – в конце июня-первой декаде июля, на реках Ванч и Вахш – в первой и второй декаде июля и на реке Гунт – во второй и третьей декадах июля. Окончание половодья наблюдается на реке Варзоб в конце сентября - начале октября, на реке Гунт – в октябре, на остальных реках – в октябре-ноябре.

Доля ледникового стока в годовом стоке рек составляет на реках: Варзоб – 18-25 %, Гунт – 17-29 %, Фандарья – 23-37 %, Вахш – 30-36 %, Ванч – 39-42 % и Зеравшан – 43-46 %. Доля талого снегового стока составляет на реках: Варзоб – 41-48 %, Гунт – 16-36 %, Фандарья – 29-36 %, Вахш – 22-31 %, Ванч – 19-22 % и Зеравшан – 12-14 %.

### **Заключение**

Сравнение доли компонентов стока в маловодные и средние по водности годы показал их разницу в зависимости от степени оледенения, соответственно преобладающего типа питания, и влияния метеопараметров на сток.

Так было выяснено, что реки со значительной степенью оледенения (11-33 % от площади бассейна), такие как Вахш, Ванч и верховья реки Матча (приток р. Зеравшан), имеют небольшой диапазон колебаний ледникового и талого снегового стока внутри года – в пределах 3-6 % в маловодные и средние по водности годы. Их сток в большей степени зависит от температурных условий лета и осени, что связано с началом и окончанием таяния ледников.

Реки с небольшой степенью оледенения (2.6-3.8 % от площади бассейна) имеют значительную вариабельность компонентов стока и в большей степени зависят от условий накопления сезонных запасов снега. Наибольшей вариабельностью отличается сток реки Фандарья, ледниковый сток которой колеблется от 23 до 37 %, а талый снеговой – от 29 до 36 % в годовом стоке. Ее сток в период половодья зависит как от запасов снега в холодный период, так и температуры воздуха в феврале и мае.

Сток реки Гунт также в большой степени зависит от накопления снега в холодный период, но практически не зависит от температурных условий, что связано с суровостью климата в этом бассейне. Доля компонентов стока в годовом стоке колеблется: ледникового – от 17 % (в средние и многоснежные годы) до 29% (в малоснежные годы), талого снегового стока – от 30-36 % до 16 % за те же годы. При этом в маловодные годы начало таяния ледников отмечается на 10-12 дней раньше, чем в многоводные и средние по водности годы.

Доля компонентов стока реки Варзоб варьирует внутри года меньше: ледникового от 18 до 25 % и талого снегового – от 41 до 48 % в годовом стоке. При этом, сток реки в период половодья в большей степени зависит и от

накопления снега в холодный период, и от температуры воздуха в с апреля по июнь, особенно от температуры в мае.

**Авторы выражают благодарность** Агентству по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан (Таджикгидромету).

#### Литература

1. Вторая оценка трансграничных рек, озер и подземных вод. Женева: Изд-во ЕЭК ООН, 2011. С. 108-111.
2. Финаев А.Ф. Природные условия формирования водных ресурсов. Доклады Академии Наук Республики Таджикистан. 2003, том 46, №11-12. С. 40-48.
3. Коновалов В.Г. Динамика оледенения Центральной Азии по материалам дистанционного зондирования. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9 № 1. С. 281-288.
4. Атлас Таджикской ССР. Душанбе-Москва: изд-во ГУГК. 1968, С. 200.
5. Книжки и таблицы для записи метеорологических наблюдений (ТМ-1, ТМС-84, КМ-1) с 1980 по 2019 годы. Фонды Таджгидромета.
6. Гидрологические ежегодники за 1980 – 2019 годы. Фонды Таджгидромета.
7. Джорджио З.В. Выделение меженного стока на реках Средней Азии. Метеорология и гидрология. 1950, № 2.
8. Диких А.Н., Михайлова В.И. Режим ледников и водный баланс северного склона хребта Терской-Ала-Тау. М.: Изд-во Наука, 1976. 131 с.
9. Бажанова Л.В. Влияние изменений климата на гидрологический режим рек высокогорной зоны (на примере р. Кашка-Тор в бассейне озера Иссык-Куль) // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2018. №3. С. 186-191.
10. Щеглова О.П. Питание рек Средней Азии. Ташкент: Изд-во СамГУ, 1960. - 245 с.

УДК 551.508(575.3)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПЫЛЕВЫХ ВТОРЖЕНИЙ С ЛИДАРОМ POLLY - XT В ГОРОДЕ ДУШАНБЕ

**Нозиров Д.Ф.<sup>1</sup>, Хофер Дж.<sup>2</sup>, Рахими Ф.<sup>1</sup>, Абдуллаев С.Ф.<sup>3</sup>, Бобоева Н.<sup>1</sup>**

*Национальная академия наук Таджикистана<sup>1</sup>(г. Душанбе, РТ)*

*Институт тропосферных исследований имени Лейбница<sup>2</sup>(Германия)*

*Физико-технический институт имени С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана<sup>3</sup> (г. Душанбе, РТ)*

*dilovarnozirov@gmail.com*

*Аннотация.* В городе Душанбе проводится постоянное лазерное зондирование атмосферы, начиная с Центрально-азиатского пылевого эксперимента с 2015года с помощью многоволнового поляризационного лидара POLLY - XT. В настоящей работе представлены некоторые результаты измерения.

*Ключевые слова:* лидар, лазерное зондирование атмосферы, пылевое вторжение, пылевой эксперимент, метод обратной траекторий.

## STUDY OF EXTREME DUST INVASIONS WITH POLLY-XT LIDAR IN DUSHANBE

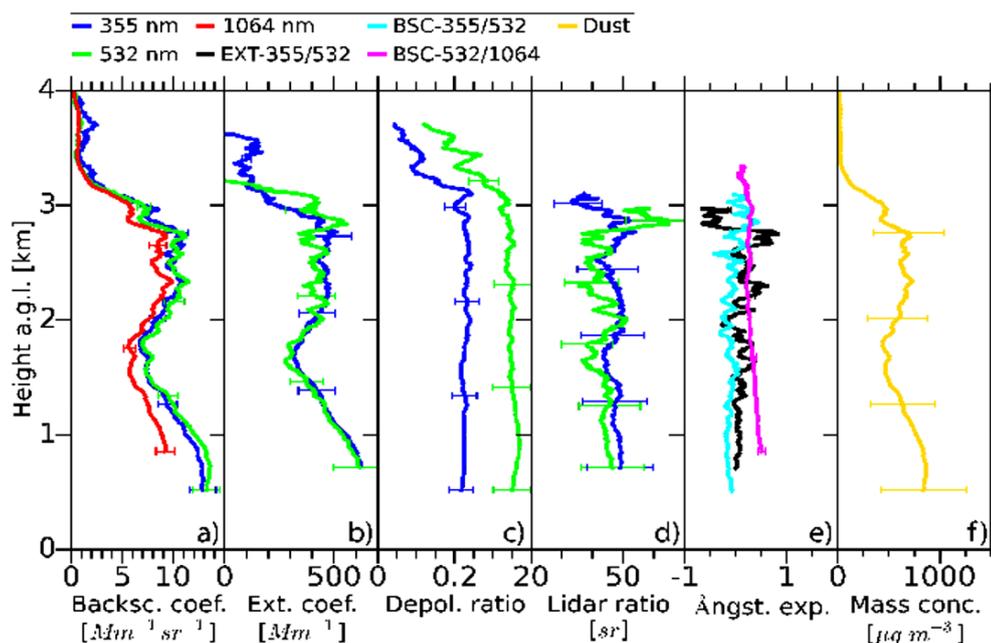
Nozirov D.F.<sup>1</sup>, Hofer J.<sup>2</sup>, Rakhimi F.<sup>1</sup>, Abdullaev S.F.<sup>3</sup>, Boboeva N.<sup>1</sup>  
National Academy of Sciences of Tajikistan<sup>1</sup> (Dushanbe, RT)  
Institute of Tropospheric Research Leibniz<sup>2</sup> (Germany)  
Physical-Technical Institute. S.U. Umarova National  
Academy of Sciences of Tajikistan<sup>3</sup> (Dushanbe, RT)

**Annotation.** In Dushanbe, continuous laser sounding of the atmosphere has been carried out since the Central Asian dust experiment since 2015 using the POLLY-XT multiwave polarization lidar. In this paper, some measurement results are presented.

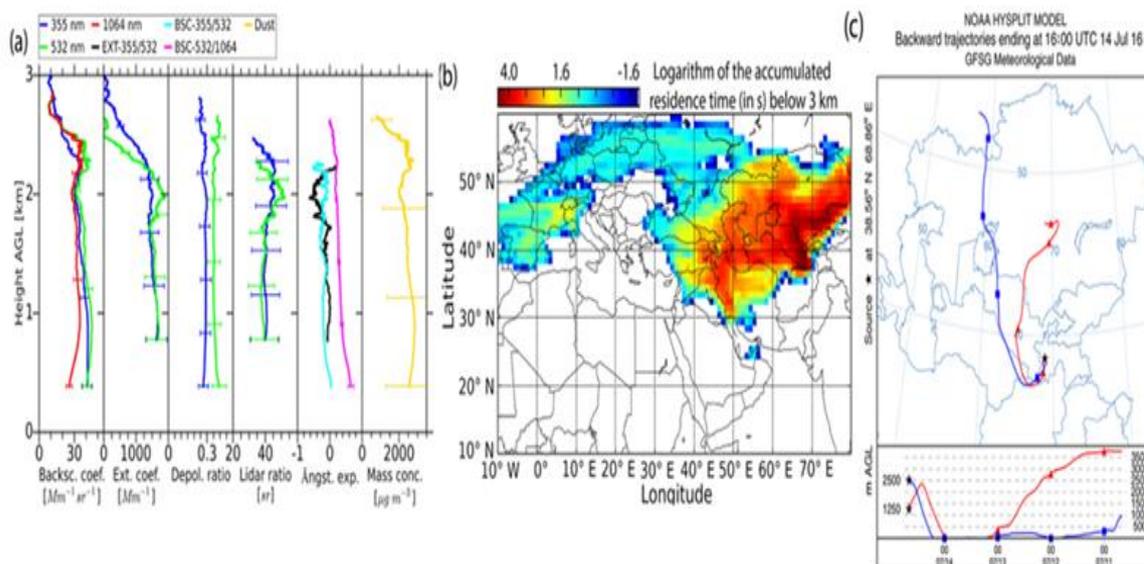
**Keywords:** lidar, laser sounding of the atmosphere, dust intrusion, dust experiment, backward trajectory method.

Использованный в г. Душанбе, прибор представляет собой многоволновый поляризационный / рамановский лидар PollyXT (PortabLe Lidar System). Символы XT в обозначении модели PollyXT означают, что он имеет расширенную версию [1] и принадлежит к сети постоянных или временных систем PollyNET [2-3]. Для Центрально-азиатского эксперимента (ЦАПЭКС) этот PollyXT был модернизирован вторым каналом деполяризации при 355 нм [4].

В данной работе описаны две различных примера измерений. Один - к лету 2015 года, а другой - к лету 2016 года. Иллюстрация часто наблюдаемого множества и сложность пылевых слоев над Таджикистаном, примеры пылевых слоев различного происхождения, присутствующих на всех высотах от поверхности приземного слоя до уровня облаков, представлены на рисунках 1 и 2.



**Рисунок 1.** Случай - 1. Показана экстремальная приземная пыль с АОТ выше 1.5 (на длине волны 500 нм) и расчетная массовая концентрация пыли 845 мкг/м<sup>3</sup>



**Рисунок 2.** Случай - 2. Показан рекордный уровень с АОТ выше 4 при 500 нм и расчетной массовой концентрацией пыли равной  $2,8 \text{ мг/м}^3$

(1) чрезвычайное пылевое событие с пылью из ЦА, которое было зарегистрировано 8 и 9 августа 2015 г. (**случай - 1**, Рис. 1);

(2) самое экстремальное пылевое событие, которое наблюдалось 14 июля 2016 года (**случай-2**, Рис. 2); во время эксперимента ЦАПЕКС - CADEX с пылью источниками из ЦА;

Показатель при 355 нм и 532 нм (цвет морской волны), связанный с обратным рассеянием и показатель экспоненты, связанный с обратным рассеянием при 532 нм и 1064 нм (пурпурный).

- a)** Коэффициент обратного рассеяния частиц при 355 нм, 532 нм и 1064 нм;
- b)** Коэффициент экстинкции частиц;
- c)** Коэффициент линейной деполяризации частиц;
- d)** Лидарное отношение при 355 нм и 532 нм;
- e)** Показатель, связанный с экстинкцией при 355 нм и при 532 нм (черный).

Исходные области этой пыли лежат в Центральной Азии (Рис. 1 **f**). Усредненные лидарные профили измеряли 8 август 2015 года по времени от 22:20 до 23:57 UTC. Лидарные сигналы сглаживаются перед вычислением оптических свойств, связанных с экстинкцией (458 м) и обратным рассеянием (68 м). **a) - f)** то же, что и на рис. 1 (нижняя левая панель).

**f)** Массовая концентрация пыли. Верхняя правая панель: FLEXPART обратная траектория такая же, как на рис. 1 (правые панели), но прибывающая 13 апреля 2015 года по времени - 14: 30 - 15: 30 UTC между 2.3 и 4.9 км. Нижняя правая панель - 96h HYSPLIT обратная траектория, прибывающие в городе Душанбе по времени - 18:00 UTC на высоте 2,3, 3,6 и 4,9 км.

### **А) Случай - 1. Измерения 8 - 9 августа 2015 года, экстремальное наличие пыли.**

Событие экстремальной пыли было зарегистрировано 8 и 9 августа 2015 года. На рис. 1. (с) показана временная динамика сигнала с коррекцией диапазона при 1064 нм на 8 9 августа 2015 года. Пыль поднялась с развитием конвективного пограничного слоя. Это привело к очень сильному сигналу в самых низких слоях на высоте 1.5 км с пылью, простирающейся на расстояние примерно до 3 км.

Траектории FLEXPART, прибывающие 8 августа 2015 года (Рис. 1 (f)), демонстрируют большую площадь к северо-западу от Таджикистана с высоким накопленным временем пребывания, даже к востоку от Каспийского моря.

Вертикальные профили оптических свойств этого пылевого слоя рассмотрены на рис. 1. Коэффициенты экстинкции частиц при 355 нм и 532 нм составляют около  $550 \text{ Mm}^{-1}$  при высоте 1 км. По-видимому, слой разделен на две части. Максимум в первом 1 км слое над Землей, а затем снова на высоте 2.5 км. Но, глядя на интенсивное распределение, заметно, что особенное линейное деполаризационное отношение частиц и экспоненциальный показатель и непрерывные признаки являются узнаваемыми. Двойной слой, вероятно, содержит один и тот же аэрозоль и происходит из той же самой области источника, поскольку имеет почти идентичные оптические свойства. Видимая граница слоя на высоте 1.6 км, вероятно, формируется суточным циклом пограничного слоя.

Средние коэффициенты линейной деполаризации частиц выше, чем до верхнего слоя пыли (**случай - 1**), в среднем 0.35 при 532 нм. Максимальная концентрация пыли в этом экстремальном приземном слое пыли составляет  $845 \text{ мкг/м}^3$  при высоте 0.65 км, в середине слоя минимум составляет  $475 \text{ мкг/м}^3$  на высоте 1.7 км. В верхней части на высоте 2.4 км массовая концентрация пыли снова составляет  $663 \text{ мкг/м}^3$ . Интегрированная пылевая масса до уровня 4 км высоты составляет  $3.2 \text{ г/м}^2$ .

### **В) Случай - 2. Измерения 14 июля 2016 года, самый экстремальный случай пылевого вторжения.**

Самое экстремальное пылевое событие во время эксперимента ЦАПЕКС произошло 14 июля 2016 года. Пыль сохранялась в течение следующих четырех дней (рис. 2). Траектории FLEXPART прибывающей пыли 14 июля 2016 года (рис. 2, правая панель) показывают большое накопление по времени их пребывания так далеко от западных районов Ирана, но самые высокие значения оказываются в период их пребывания в Узбекистане. Накопленное время пребывания над Казахстаном также является высоким, но они также достигают территорий к востоку от озера Балхаш, отличающиеся от 8 августа 2015 года (рис. 1 (f)). Вертикальные профили измеренных оптических свойств этого

пылевого слоя представлены на рис. 2 (левая панель). Коэффициенты экстинкции частиц аэрозолей при 355 нм и 532 нм составляют около  $1.7 \text{ км}^{-1}$  на высоте 1 км (рис. 2, левая панель, (б)). Значения АОТ составляли 3.89 при 532 нм, что намного выше, чем долгосрочное среднее значение 10 кратного стандартного отклонения (см. Раздел «Обзор данных по системе АЭРОНЕТ»). 14 июля 2016 года с помощью солнечного фотометра АЭРОНЕТ зафиксирован самый высокий среднесуточный показатель АОТ с начала эксперимента в г. Душанбе. Таким образом, это пылевое событие можно назвать рекордным, как и чрезвычайное пылевое событие в сентябре 2015 года в Средиземноморье [24].

**Таблица 1.**

**Обзор по выбранным примерам (ночные измерения)**

Случаи	Случай - 1 Экстремальная пыль	Случай - 2 Сверхэкстремальная пыль
Регион источника	Центральная Азия	Центральная Азия
Дата	08.08.2015	14.07.2016
Время [UTC]	22:20-23:57	16:00-21:59
Высота слоя (км над уровнем Земли)	0-3.1	0-2.6
S355	$46.9 \pm 2.1$	$40.3 \pm 0.6$
S532	$42.9 \pm 3.2$	$38.7 \pm 1.0$
$\delta P355$	$0.23 \pm 0.01$	$0.29 \pm 0.01$
$\delta P532$	$0.35 \pm 0.01$	$0.35 \pm 0.01$
$\tau$ лидар	1.50 (0—4.1 км)	3.89 (0—3 км)
$\tau$ фотометр	1.19 (2), 1.69 (3)	4.45 (4), 2.89 (5)
$\alpha$ 355/532	$0.12 \pm 0.16$	$-0.08 \pm 0.06$
$\beta$ 355/532	$-0.11 \pm 0.09$	$-0.20 \pm 0.13$
$\beta$ 532/1064	$0.32 \pm 0.07$	$0.29 \pm 0.03$

Среднее линейное отношение деполяризации аэрозольных частиц при 355 нм составляло  $0.29 \pm 0.01$  и следовательно было выше, чем в **случае — 1**, а при 532 нм было равным  $0.35 \pm 0.01$ . Расчетная массовая концентрация пылевого вторжения для этого самого экстремального пылевого события была наибольшей на высоте 1 км и составляла  $2.8 \text{ мг/м}^3$ . Интегрированная пылевая масса до высоты 2.7 км составляла  $6.5 \text{ г/м}^2$ .

В табл.1 приведены S 355 и S 532 - лидарные отношения при 355 нм и 532 нм соответственно;  $\delta P355$  и  $\delta P532$  -коэффициенты линейной деполяризации аэрозольных частиц при 355 нм и 532 нм соответственно;  $\tau$  Лидар - оптическая толщина аэрозоля, измеренная на длине волны 535 нм лидаром;  $\tau$  SPM -

измерение оптической толщины аэрозолей совместно расположенного солнечного фотометра при 500 нм (время измерений в сноске);  $\alpha$  355/532 - параметр Ангстрема, связанный с экстинкцией на основе коэффициентов экстинкции аэрозольных частиц при 355 нм и 532 нм;  $\beta$  355/532 и  $\beta$  532/1064 - параметры Ангстрема, связанные с обратным рассеянием при 355 нм, 532 нм и 1064 нм.

Диапазон высоты для средних оптических свойств слоев пыли помещается в ядро каждого слоя. Предоставленные неопределенности представляют собой стандартные отклонения усредненных значений

### Литература

1. Althausen, D. Portable Raman Lidar PollyXT for Automated Profiling of Aerosol Backscatter, Extinction, and Depolarization/ D. Althausen, R. Engelmann, H. Baars et al. // J.Atmos. Oceanic Tech. - V. 26. - Pp. 2366-2378. - doi:10.1175/2009JTECH1304.1. - 2009.
2. Baars, H. An overview of the first decade of PollyNET: an emerging network of automated Raman-polarization lidars for continuous aerosol profiling / H. Baars, T. Kanitz, R. Engelmann et al. // Atmos. Chem. Phys. - V. 16 - Pp. 5111-5137. - doi:10.5194/acp-16-5111. - 2016.
3. Baars, H. Aerosol profiling with lidar in the Amazon Basin during the wet and dry season 2008. / H. Baars // - Ph.D. thesis, - University of Leipzig. - 2011.
4. Назаров, Б.И. Дистанционное зондирование атмосферы в рамках проекта CADEX / Б.И. Назаров, Д. Альхаузен, Дж. Хофер, С.Ф. Абдуллаев // Доклады АНРТ. - Т. 59. - № 11-12. - с. 489-497. - 2016.

УДК 551.324.433

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЕДНИКА ДЖАНКУАТ НА КАВКАЗЕ: ТЕНДЕНЦИИ И АНОМАЛИИ

**Поповнин В.В., Губанов А.С.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
(г. Москва, РФ)*

*begemotina@hotmail.com*

***Аннотация.** Для опорного кавказского ледника Джанкуат анализируются временные серии прямых инструментальных измерений баланса массы и его компонентов, а также объёмов талого ледникового стока с 1967/68 г. При том, что деградация ледника однозначно продолжается, с середины 2010 гг. наметились признаки замедления этих тенденций из-за того, что наблюдаемый рост аккумуляции снега превосходит эффект параллельно отмечаемого усиления таяния, хотя убыли вещества в последнее время активно препятствует бронирующее воздействие разрастающегося моренного покрова. В течение всего 55-летнего срока проявляется стойкая тенденция к возрастанию массообмена ледника, что может косвенно свидетельствовать о некотором ослаблении черт континентальности у климата гляциального пояса Кавказа.*

***Ключевые слова:** ледник, баланс массы, мониторинг, тенденция, аномалия, аккумуляция, абляция, массообмен.*

## THE PRESENT STATE OF THE DJANKUAT GLACIER IN THE CAUCASUS: TENDENCIES AND ANOMALIES

Popovnin V.V., Gubanov A.S.  
*Geographical Faculty, Moscow State University (Moscow, RF)*

**Annotation.** For the reference the Caucasian glacier Dzhankuat, time series of direct instrumental measurements of the mass balance and its components, as well as the volume of glacial melt runoff since 1967/68 are analyzed. There are signs of a slowdown in these trends due to the fact that the observed increase in snow accumulation exceeds the effect of a parallel observed increase in melting, although the loss of matter has recently been actively prevented by the armoring effect of the growing moraine cover. During the entire 55-year period, there is a persistent tendency towards an increase in the mass transfer of the glacier, which may indirectly indicate a certain weakening of the features of continentality in the climate of the Caucasus glacial belt.

**Keywords:** glacier, mass balance, monitoring, tendency, anomaly, accumulation, ablation, mass turnover.

### Введение

Гляциологический мониторинг традиционного объекта исследований МГУ – ледника Джанкуат – ведётся без перерывов с 1967/68 г. Изначально выбранный в качестве репрезентативного для Центрального Кавказа по программе МГД [1], он продолжает оставаться таковым по сей день, одновременно служа ключевым для наивысшей горной системы Западной Азии. Основная цель наблюдений на нём – обоснованные и инструментально подтверждённые заключения об эволюционных тенденциях водно-ледовых ресурсов кавказского оледенения, базирующиеся на ежегодных прямых измерениях баланса массы и его компонентов – аккумуляции и абляции. Непрерывный 55-летний ряд этих измерений – самый длинный из ледников России, а по детальности и густоте сети промерных пунктов Джанкуат занимает лидирующие позиции в мировой гляциологии. Не случайно включение его в перечень опорных объектов Земли по решению Всемирной службы мониторинга ледников.

Последние годы наблюдений изрядно подкорректировали доминирующие тенденции параметров внешнего массообмена, хотя общая направленность его эволюции в сторону прогрессирующей деградации изменений не претерпела. Тем не менее заключительный отрезок времени обнаруживает некоторые новые черты, обсуждению которых посвящено данное исследование.

### Объект исследований и принятая методика измерений

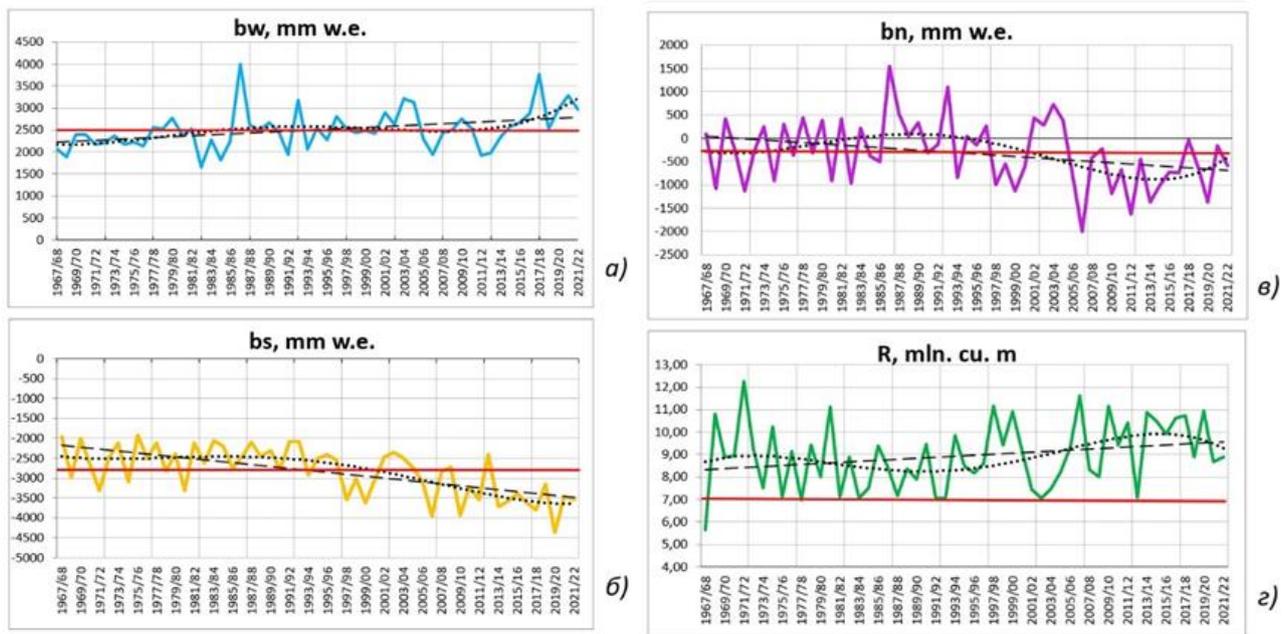
Расположенный в Кабардино-Балкарской Республике в 30 км к ЮВ от наивысшей точки Кавказа, г.Эльбрус, долинный ледник Джанкуат залегает в интервале высот от 2740-3670 м над уровнем моря. При развёртывании наблюдений в 1968 г. он занимал площадь 3,346 км<sup>2</sup> в ортогональной проекции, но за последующие полстолетия сократился до 2,301 км<sup>2</sup>, утратив порядка 30% своей площади.

Программа ежегодного мониторинга во все годы отличалась своей комплексностью. Помимо нацеленности на вычисление баланса массы как наиболее информативного параметра, свидетельствующего об эволюционных трендах, здесь в качестве сопутствующих были организованы регулярные летние наблюдения на 2-4 метеоплощадках (в последние 20 лет – в том числе при помощи автоматических метеостанций) и гидрометрические измерения на замыкающем створе бассейна. Корректность вычислений баланса массы проверялась периодическим обновлением детальной топоосновы в масштабе 1:10000, охватывающей 100% площади ледника, для чего вначале производились фототеодолитные съёмки, а с появлением цифровых технологий их заменила обработка стереопар от наземных съёмок цифровыми камерами, с дронов и из космоса. За 55 лет для Джанкуата создано 8 разновременных топооснов (ЦМР), попарное наложение которых позволяет определить кумулятивный баланс массы за временной интервал между ними.

Сам же масс-балансовый мониторинг основывался на стандартных методических принципах для сохранения максимальной преемственности при проведении рабочих процедур в течение столь длительного отрезка времени. Приходная составляющая баланса  $b_w$  определялась по итогам весенних снегосъёмок, тяготеющих к датам максимального сезонного снегонакопления. В разные годы они состояли из 200-550 промерных пунктов толщины снежного покрова (иногда посредством радиолокационного профилирования) и 2-4 шурфов для денсиметрии. Для измерений абляции  $b_s$  разбивалась речная сеть из 40-70 рек. Такая густота даже превышает ту, что рекомендуется для высшего класса наблюдений [2]. К результатам прямых измерений вводилась целая серия поправок, среди которых на отдельных участках ледниковой поверхности фигурировал учёт обтаивания стенок трещин и таяние льда под чехлом поверхностной морены [3, 4]; мощность последнего особенно динамично возрастает в последние десятилетия, судя по повторным мореносъёмкам. Итоговое вычисление баланса массы  $b_n$  и его компонентов  $b_w$  и  $b_s$  для ледника в целом осуществляется путём построения континуальных полей этих параметров и их оцифровкой в узлах регулярной сетки 50 x 50 м на местности.

### **Результаты**

На рис.1 представлены графики годовых значений аккумуляции, абляции, баланса массы и объёма жидкого ледникового стока в 1967/68-2021/22 гг.



**Рисунок 1.** 55-летние серии годовых значений аккумуляции (а), абляции (б), баланса массы (в) и объёма талого стока (г) с ледника Джанкуат (а-в: мм вод.экв., г: млн.м<sup>3</sup>), многолетние средние, линейные тренды (пунктир), аппроксимация рядов полиномом 4-ой степени (точечные линии).

Горизонтальной прямой там отражены среднемноголетние значения соответствующего параметра, а также аппроксимация серий линейными трендами и полиномами 4-й степени. Последние призваны наглядно проявлять новейшие тенденции на заключительном этапе периода мониторинга.

Аккумуляция в течение всех 55 лет наблюдений обнаруживала тренд к медленному росту, который после некоторой стабилизации со второй половины 1990-ых гг. резко возрос за последние 10 лет. Достаточно сказать, что скользящие средние по 4-леткам в 2020-ых гг. впервые перевалили за 3000 мм. Именно к последней пятилетке приурочены годы с аномально высоким  $b_w$ , занимающие второе и третье места за весь период мониторинга (соответственно 3760 мм в 2017/18 г. и 3290 мм в 2020/21 г.). Правда, рекорд многоснежности 1986/87 г. (4000 мм, 1%-ная обеспеченность) пока устоял с 1967/68 г. аккумуляция на Джанкуате превосходила 3000-мм-ый рубеж только 6 раз. Учитывая то, что и 2019/20 г. с величиной  $b_w$ , равной 2990 мм, не достиг этой отметки чисто символически, можно уверенно трактовать последние годы как стадию наиболее резкого приращения количества снега за последние полстолетия.

Тенденция к усилению абляции на Джанкуате до середины 1990-ых гг. была статистически незначима, но впоследствии наступил период с ярко выраженным негативным для ледника бюджетным эффектом. Среднее многолетнее значение абляции с начала инструментальных наблюдений на сегодня составляет 2830 мм, и  $b_s$  была по модулю меньше нормы лишь единственный раз за последние 18 лет.

Абляция же 2019/20 г. (4360 мм вод.экв.) стала абсолютным рекордом за весь 55-летний период прямых наблюдений, превзойдя предыдущий рекорд 2006/07 г. сразу на 400 мм, т.е. примерно на 10%. Тренд к ускорению убыли массы ледника был бы ещё более выраженным, если бы в последние годы не возник ощутимый эффект от разрастания чехла поверхностной морены по площади и мощности: он тормозит абляцию за счет поглощения солнечной радиации и теплоизоляции [3] и в какой-то степени компенсирует негативное воздействие климатических перемен на состояние ледника. По итогам повторных прямых мореносъёмок объём моренного чехла за последние 40 лет возрос вчетверо. Площадь Джанкуата, забронированная каменной мантией, ещё в 1968 г. оценивалась в 2% от общеледниковой, а к 2022 г. эта доля возросла на порядок и составляет уже 20%. Средняя толщина моренного чехла сегодня достигла 60 см. Доказано [4], что на современном этапе его эволюция влияет на состояние ледника соизмеримо с климатическими переменами.

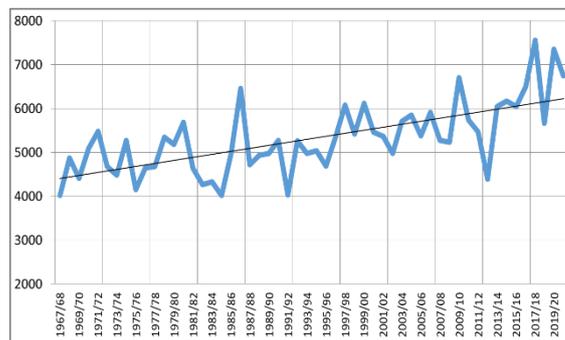
Несмотря на то, что после 2004/05 г. регистрировались исключительно отрицательные значения баланса массы, а вторую декаду XXI в. следует признать самой неблагоприятной для ледника предшествующие полстолетия, полиномиальная аппроксимация 55-летнего ряда (рис.1,в) вырисовывает признаки некоторых позитивных для состояния ледника сдвигов в последние годы, начиная с середины 2010-ых гг. Они носят лишь относительный характер, поскольку масса ледника по-прежнему продолжает уменьшаться, однако налицо явное замедление темпов этих потерь. Причина вскрывается при сопоставлении рис.1,а и 1,б: увеличение снегонакопления последних лет перекрывает негативный эффект от продолжающего роста  $b_s$ . В результате 2 минимально отрицательных после 2004/05 г. значения  $b_n$  фиксируются именно в последнюю пятилетку. При этом межгодовая дифференциация величин  $b_n$  остаётся весьма высокой: даже на фоне наметившихся сдвигов к улучшению бюджетного состояния Джанкуата отрицательная аномалия 2019/20 г. (-1370 мм) входит в четвёрку экстремумов за весь 55-летний отрезок времени.

Объём стока обнаруживает переменную тенденцию, однако некоторый спад его в последние годы говорит о большей роли прогрессирующего сокращения действующей площади ледника, нежели влияния роста слоя стока вслед за  $b_s$ .

Многолетняя серия наблюдений выявляет и тенденцию к росту обмена ледника, т.е. суммы величин аккумуляции и абляции, взятых по модулю [5]. Данный показатель характеризует энергию оледенения – главный показатель, иллюстрирующий интенсивность внешнего массообмена горного ледника и отражающий таким образом общеклиматические условия его существования. Заключительные годы на рис.2 однозначно выделяются своим повышенным массообменом. Рекордный 2017/18 балансовый год (7560 мм вод.экв.) стал

безоговорочным лидером среди всех других членов 55-летнего ряда, а значения 2019/20 и 2020/21 гг. (7350 и 6750 мм вод.эquiv. соответственно) занимают в этом ряду почётные второе и третье места.

Массообмен последней пятилетки вообще выходит за естественную межгодовую изменчивость, что редко регистрируется даже в условиях стремительно меняющегося климата. Коэффициент детерминации, равный 0.45, характеризует статистическую значимость тренда к более интенсивному массообмену, который свидетельствует прежде всего о некотором



**Рисунок 2.** Обмен ледника Джанкуат за 1967/68-2021/22 гг., мм вод.эquiv.

ослаблении свойств континентальности в режиме местного гляциального пояса. Несмотря на то, что Кавказ расположен в глубине евразийского континента и весьма удалён от Атлантики как основного источника питания ледников, его климат традиционно относили к умеренно морским в связи с близостью акватории внутриконтинентального Чёрного моря. Судя по рис.2, за последние полстолетия тенденция к смягчению климата продолжает прогрессировать, обуславливая при этом соответствующие сдвиги в массообмене кавказских ледников.

### **Заключение**

Анализ уникально длинного ряда прямых измерений баланса массы ледника Джанкуат позволяет обнаружить на фоне продолжающейся деградации кавказского оледенения некоторые признаки её замедления с середины 2010-ых гг. Отмеченный тренд к неуклонному росту обмена ледника за все 55 лет косвенно указывает на относительное ослабление свойств континентальности климата гляциального пояса Кавказа.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 22-17-00133).

### **Литература**

1. Ледник Джанкуат (под ред. И.Я.Боярского). Л., Гидрометеиздат, 1978, 184 с.
2. Hoinkes H.C. Glacial meteorology. In: Solid Earth and interface phenomena, vol. 2 "Research in Geophysics" (ed. by H. Odishaw). M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1964, p.391-424.
3. Popovnin V.V., Rozova A.V. Influence of sub-debris thawing on ablation and runoff of the Dzhankuat Glacier in the Caucasus. *Nordic Hydrol.*, 2002, vol. 33, No. 1, p. 75–94.
4. Резепкин А.А., Поповнин В.В. О влиянии поверхностной морены на состояние ледника Джанкуат (Центральный Кавказ) к 2025 г. - *Лед и снег*, т.58, № 3, 2018, с.307-321. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-3-307-321>
5. Гляциологический словарь (под ред. В.М.Котлякова). Л., Гидрометеиздат, 1984, 528 с.

УДК 551.583.15 (556.3.04)

## ИНДИКАЦИЯ ДЕГРАДАЦИИ КАМЕННЫХ ГЛЕТЧЕРОВ ГОР ГИССАРО-АЛАЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ХОДЖА-ОБИ-ГАРМ

**Разыков Б.Х.**

*Международный университет туризма и предпринимательства  
Таджикистана (г. Душанбе, РТ)  
razykov@bk.ru*

***Аннотация.** Глобальное потепление сокращает запасы льда в горах Центрального Таджикистана. В горах Гиссаро-Алая на высотах от 3000 до 4000 м происходит процесс деградации каменных глетчеров. Многолетние гидрогеологические режимные наблюдения месторождения термальных вод Ходжа-Оби-Гарм, расположенного в этих горах, показали снижение дебита и температуры терм месторождения. Изучение динамики изменения площадей горного оледенения требует проведения наземного мониторинга и космической съёмки.*

***Ключевые слова:** Дебит скважин, деградация оледенения, изменение климата, куст скважин, месторождение термальных вод, температура.*

## INDICATION OF GISSAR-ALAY ROCK GLITTER DEGRADATION AT KHOJA-OBI- GARM THERMAL WATER FIELD

**Razykov B.Kh.**

*International University of Tourism and Entrepreneurship of Tajikistan (Dushanbe, RT)*

***Annotation.** Global warming reduces ice reserves in the mountains of Central Tajikistan. In the Gissar-Alay mountains at altitudes from 3000 to 4000 m occurs the process of degradation of rock glaciers. Long-term hydrogeological monitoring of the Khoja-Obi-Garm thermal water deposit located in these mountains showed the decrease in the well rate and temperature of the field's terms. Studying the dynamics of changes in the areas of mountain glaciation requires ground monitoring and space shooting.*

***Keywords:** Well rate, glaciation degradation, climate change, cluster well, thermal water field, temperature.*

На территории Центрального Таджикистана в горах Гиссаро-Алая на склонах хребтов и их отрогах, на высотах от 3000 до 4000 м, в условиях обильного увлажнения встречаются мелкие каменные ледники, расположенные в самых верхних частях гор в карах, создающих благоприятные условия для накопления снега и защиты его от таяния [1, с. 42]. Водные ресурсы, сосредоточенные в этих каменных глетчерах, подвержены влиянию, как повышения атмосферных температур, так и трансформации характера и режима осадков в результате изменения климата. Неопределенность в отношении гидрологической роли деградации таких ледников возникает из-за того, что отслеживание таяния льда в оттоках глетчеров является косвенной и технически сложной задачей.

В процессе решения этой задачи в конце XX столетия в Таджикистане Агентство «Таджиккоинот» начало изучать процесс деградации оледенения с привлечением данных наземных исследований и космических съёмок, и установило, что с 1945 по 2000 гг. площадь оледенения в горах Гиссаро-Алая сократилась с 999 км<sup>2</sup> до 485,5 км<sup>2</sup> и составила 49,4 % от первоначальной [1, с.50].

Для исследователей влияния деградации оледенения на водный режим гидротермальных месторождений на территории Центрального Таджикистана очевидный интерес представляют условия формирования термальных вод месторождения Ходжа-Оби-Гарм, окаймлённого горами Гиссарского хребта с севера, запада и юга, расположенного в 57 км к северу от г. Душанбе в верховьях узкой долины р. Ходжа-Оби-Гарм на абс. высоте 1780-1870 м (рис. 1). Существующая гидротермальная система месторождения Ходжа-Оби-Гарм возникла и оформилась в современном виде в период последних оледенений гор Гиссара-Алая, вмещающих её гидрогеологическую структуру. Определелись области инфильтрации, стока и разгрузки, интенсивность атмосферного питания.

Месторождение Ходжа-Оби-Гарм слагают кислые интрузивные породы, обнажающиеся в виде двух гранитных массивов широтного простирания. Северный массив представлен серыми гранитами карбона, южный – розовыми гранитами перми. Месторождение связано с зоной надвига серых гранитов на розовые, и известной как Ходжаобигармский разлом (рис. 2). Трещины зоны разлома служат основными выводящими путями термальных трещинно-жильных вод на земную поверхность, циркулирующими в пределах массивных интрузий, локализованных в пределах зоны альпийской складчатости [2, с. 44].

В верхней западной части термального склона непосредственно в месте перелива горячих вод из разлома в делювий последние, попадая из области высокого давления в область пониженного атмосферного давления, начинают вскипать и дегазировать [3, с. 215]. Коренные воды растекаются в делювии в юго-восточном направлении, следуя по уклону кровли розовых гранитов, разгружаясь источниками в трёх широтных зонах. В верхней зоне кустами субгоризонтальных скважин № 1 и № 2 глубинами от 78 до 117 м вскрыты наиболее горячие воды с температурой 92-98 °С.

Протоколом № 5314 заседания ГКЗ СССР от 22 декабря 1967 года были утверждены балансовые эксплуатационные запасы термальных вод месторождения Ходжа-Оби-Гарм по горизонту кустов скважин №№ 1 и 2 по категории А в объёме 639,4 м<sup>3</sup>/сутки (7,4 л/с), используемые сегодня курортом Ходжаобигарм для бальнеолечения, горячего водоснабжения и теплоснабжения отдельных зданий.

В 2017г. были выполнены исследования компонентов термальных вод и пород месторождения Ходжа-Оби-Гарм в аналитических подразделениях Дальневосточного геологического и океанологического институтов ДВО РАН. Были получены полные химанализы этих вод на 52 элемента и отобранных образцов водовмещающих пород.

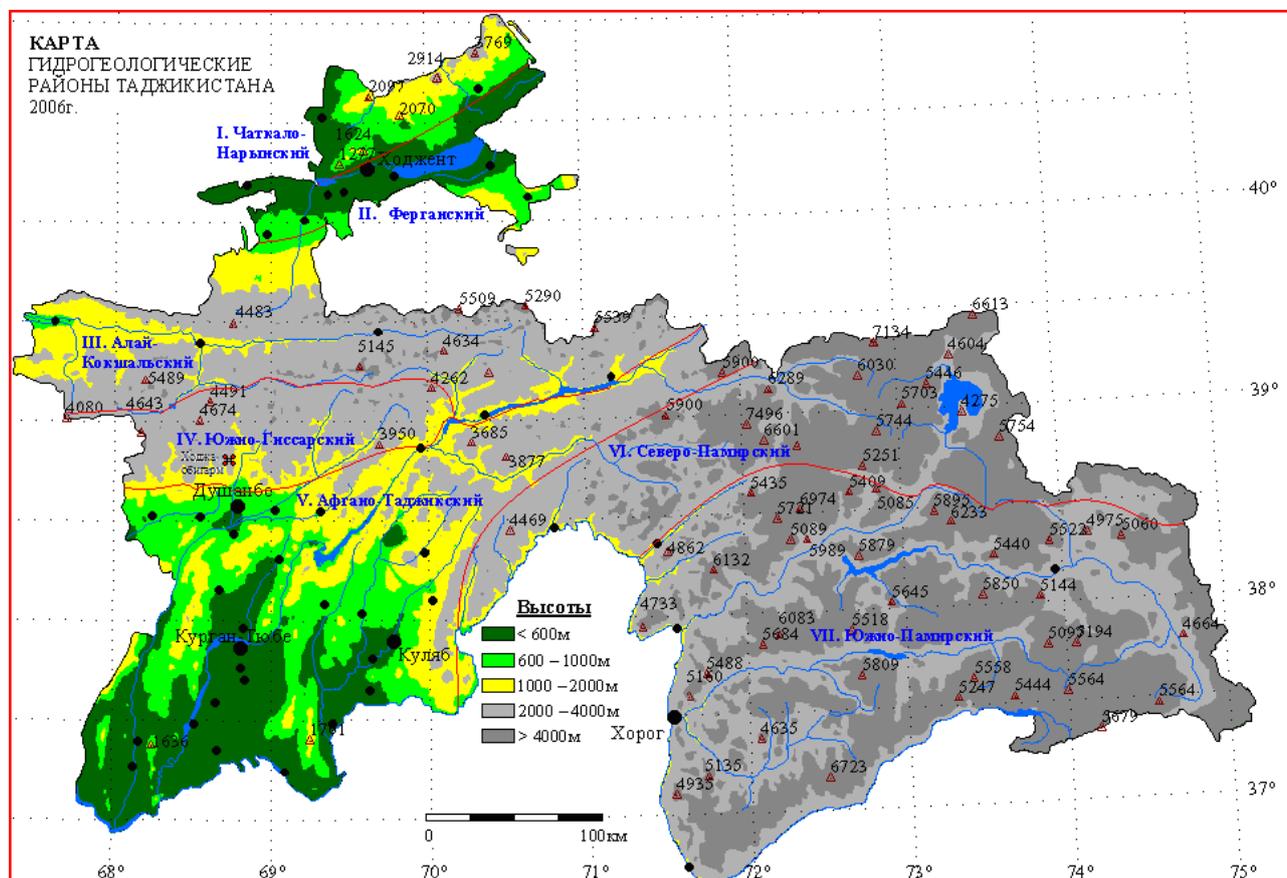


Рисунок 1. Расположение гидротермального месторождения Ходжа-Оби-Гарм

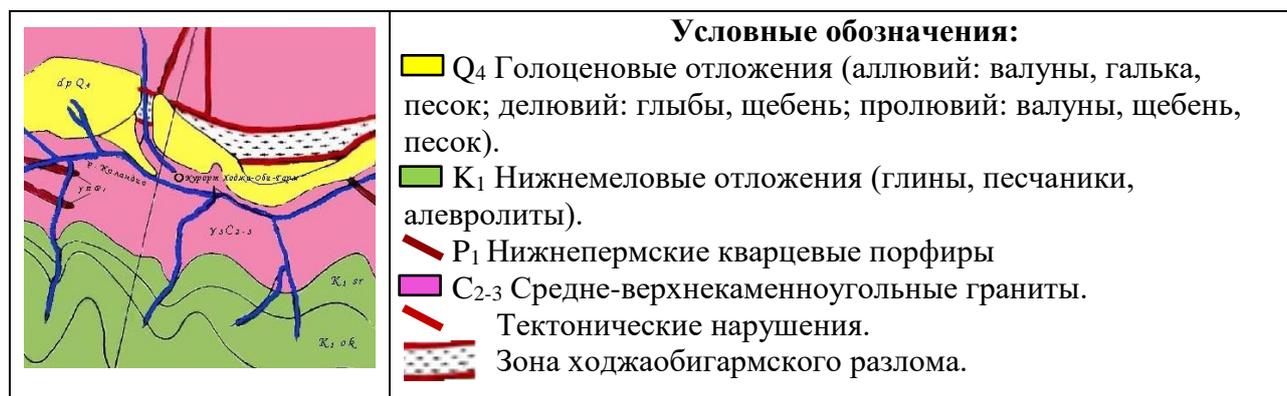


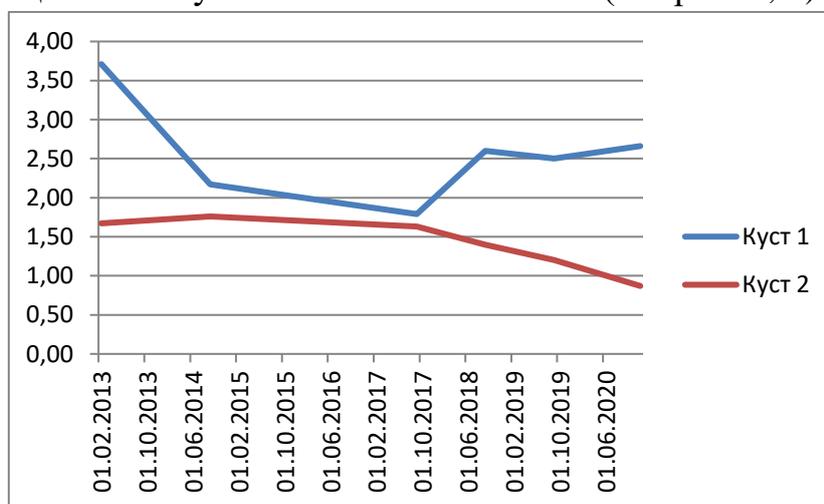
Рисунок 2. Геологическое строение месторождения Ходжа-Оби-Гарм

Изотопный состав термальных вод показал содержание: кислорода-18 равным 13,1‰ и стабильным от скважины к скважине, дейтерия - варьирующимся в диапазоне от 79,8 до 84,2‰. Изотопный состав

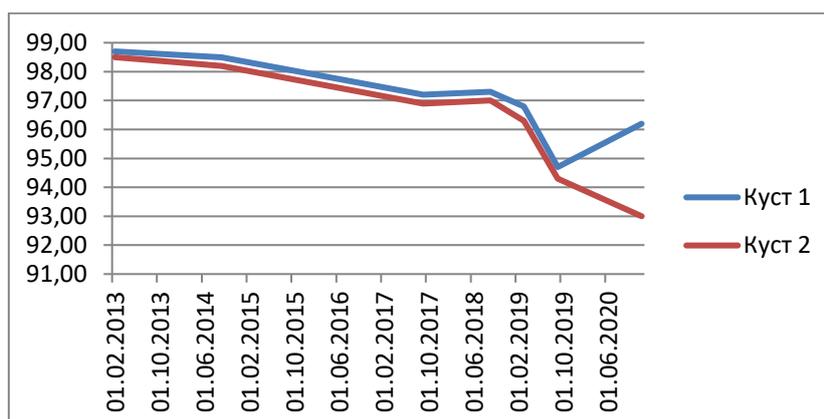
близко ложится вдоль глобальной линии метеорных вод, свидетельствуя об инфильтрационном происхождении термальных вод и о масштабном взаимодействии метеорных вод с водовмещающими породами [4, с.169].

Измеренные значения трития в термальных водах очень низкие и составляют всего 0,8 ТЕ (или 0,09 Бк/кг), что свидетельствуют о достаточно долгом периоде водообмена этих вод, и практически полном отсутствии смешивания с поверхностными горизонтами грунтовых вод.

В период с 2013 по 2020 годы автором были проведены гидрогеологические режимные наблюдения по эксплуатационным кустам скважин месторождения Ходжа-Оби-Гарм, выводящих термальные воды. Результаты гидрогеологических исследований отражают снижение дебита и температуры терм эксплуатационных кустов скважин №№ 1 и 2 (см. рис. 3, 4).



**Рисунок 3.** Изменение дебита воды кустов скважин №№ 1 и 2



**Рисунок 4.** Изменение температуры воды кустов скважин №№ 1 и 2

По кустам скважин произошло снижение:

а) дебита:

№ 1 - от 3,71 л/с в 2013 году до 2,66 л/с в 2020 году (на 28,3 %);

№ 2 - от 1,67 л/с в 2013 году до 0,87 л/с в 2020 году (на 47,9 %);

от суммарного показателя 1967г. – 7,4 л/с, до 2020г. – 3,53 л/с (на 52,3 %).

б) температуры:

№ 1 - от 98.7 °С в 2013 году до 96.2 °С в 2020 году (на 2.5 %);

№ 2 - от 98.5 °С в 2013 году до 93.0 °С в 2020 году (на 5.6 %).

Согласно данным Всемирной метеорологической организации, «среднее значение глобальной температуры за пятилетний период 2013-18 годов стало самым высоким показателем за всю историю метеорологических наблюдений» [5]. Это утверждение коррелирует с приведёнными данными режимных наблюдений. Отрицательная динамика гидрогеологических параметров месторождения Ходжа-Оби-Гарм показывает, что современное оледенение деградирует в условиях потепления и происходит независимо от экспозиции широтно-вытянутых крупных хребтов Гиссаро-Алая или гипсометрии их склонов с абсолютными отметками залегания гляциальных образований 3000–4000 м.

Таяние ледников может отразиться на стабильности запасов воды для нужд сельского хозяйства, выработке гидроэлектроэнергии и потреблении её населением.

### **Выводы**

Формирующиеся на территории Таджикистана водные ресурсы, потребляются, главным образом, нижерасположенными по течению рек государствами Центральной Азии. Поэтому актуальная страновая проблема деградации оледенения приобретает сегодня социально-политический характер, ибо известно, что в основе всех конфликтов лежит дефицит используемых ресурсов, в нашем случае – водных запасов.

На территории Таджикистана в условиях недофинансирования и отсутствия технических ресурсов в настоящее время остаётся только определять миграцию границ снежно-ледового покрова с помощью наземных исследований и космической информации. Повышение уровня знаний о фактическом состоянии и закономерностях деградации ледников и динамики водных ресурсов Таджикистана в условиях изменения климата возможно на основе модернизации системы мониторинга, разработки новых технологий и методов гидрологических расчётов.

### **Литература**

1. Пильгуй Ю.Н., Саидов М.С., Хомидов А.Ш., Шакиржанова Г.Н. Ледники Таджикистана в условиях изменения климата. Издание Научно-исследовательского центра Агентства по землеустройству, геодезии и картографии при Правительстве Республики Таджикистан. - Душанбе, 2008, 116 с.
2. Шапар А.А. и Туев В.Г. Результаты разведочных гидрогеологических работ на месторождении термальных вод Ходжа-Оби-Гарм. (Отчёт Ходжа-Оби-Гармской партии за 1963-67гг. Том 1). - Душанбе, 1967. – 99 с.
3. Гордиенко Л.С., Мальцев А.А. Термальные воды курорта Ходжа-Оби-Гарм. – Вопросы гидрогеол. и инж. геол. Таджикистана (сб. ст.). – Душанбе: Ирфон, 1965.- С. 215.

4. Демонина А.Ю., Харитоновна Н.А., Брагин И.В., Разыков Б.Х. Условия формирования термоминеральных вод южных отрогов Гиссарского хребта (Таджикистан). Всероссийское совещание по подземным водам востока России. XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока (18-25 июня 2018г.). – Новосибирск: НПЦ НГУ, 2018. – 580 с.
5. Ледники Тянь-Шаня и Памира в условиях изменения климата [Электронный ресурс]. – URL: [https://ca-climate.org/info\\_products/resources/ledniki-tyan-shanya-i-pamira-v-usloviyakh-izmeneniya-klimata/](https://ca-climate.org/info_products/resources/ledniki-tyan-shanya-i-pamira-v-usloviyakh-izmeneniya-klimata/) (дата обращения: 27.02.2023).

УДК 551.578.48

## **СОСТОЯНИЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛАВИН В ТАДЖИКИСТАНЕ: ЛАВИННООБРАЗУЮЩИЕ ФАКТОРЫ И КРАТКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ПРОГНОЗА СНЕЖНЫХ ЛАВИН**

**Саидов М.С.<sup>1</sup>, Саидзода С.М.<sup>2</sup>**

***Таджикский национальный университет<sup>1</sup> (г. Душанбе, РТ)  
ГУ «Научно-исследовательский центр охраны водных ресурсов»  
Комитет охраны окружающей среды  
при Правительстве Республики Таджикистан<sup>2</sup> (г. Душанбе, РТ)  
Saidov-mirzo@mail.ru***

***Аннотация.** В данной работе дается оценка территории по степеням лавинной опасности, включая потенциально лавиноопасные территории, на которых при неправильном освоении районов могут возникнуть лавины. В статье приводятся результаты проведенных исследований автором в рамках проекта «Природные опасности и картирование уязвимости к изменению климата в бассейнах рек Пяндж и Сырдарье».*

***Ключевые слова:** карта, лавина, опасность, прогноз, оценка, рельеф, лавинообразования, фактор, склон, картография, снег.*

## **STATE OF AVALANCHE MAPPING IN TAJIKISTAN: AVALANCHE FORMING FACTORS AND A BRIEF REVIEW OF SNOW AVALANCHE FORECAST METHODS**

**Saidov M.S.<sup>1</sup>, Saidzoda S.M.<sup>2</sup>**

***Tajik National University<sup>1</sup>(Dushanbe, RT)  
State Institution "Research Center for the Protection of Water Resources" Committee for  
Environmental Protection under the Government of the Republic of Tajikistan<sup>2</sup>(Dushanbe, RT)***

***Annotation.** This paper gives an assessment of the territory according to the degree of avalanche danger, including potentially avalanche-prone territories, where avalanches can occur if the areas are not properly developed. The article presents the results of studies conducted by the authors within the framework of the project "Natural Hazards and Mapping of Vulnerability to Climate Change in the Pyanj and Syrdarya River Basins".*

***Keywords:** map, avalanche, danger, forecast, assessment, relief, avalanche formation, factor, slope, cartography, snow.*

### **Состояние картографирования лавин**

Составление карт лавинной опасности в Таджикистане до настоящего времени проводится в основном в крупных масштабах, что связано с

предназначенностью таких карт для оценки территории при изыскательских работах, которые ведутся на отдельных сравнительно небольших по площади участках планируемого строительства, а также для использования в оперативной службе защиты от лавин и прогноза лавин на отдельных предприятиях, участках дорог, перевалов и т. п. Содержание таких карт элементарно: на них на топографической основе с горизонталями оконтуриваются и нумеруются лавинные очаги.

Но чаще крупномасштабные карты лавин составляются в связи с оценкой территории при ее освоении. Типы таких карт различны. В связи с нуждами дорожного строительства и защитой автомобильных дорог от лавин составляют карты, на которых показаны лишь места выноса лавин на дорогу и объем выносимого снега, выделены участки, опасные и «безопасные с точки зрения деятельности лавин и селей; кроме этого, показаны пути схода лавин и селей и элементы орогидрографии, характеризующие условия рельефа, благоприятствующие образованию лавин и селей или указывающие на следы их деятельности, а также состояние лесного покрова на склонах, тоже свидетельствующее о лавинно-селевой деятельности, таковы карты трассы Ош - Хорог, Душанбе-Хорог и т.д.

Это свидетельствует о том, что тип крупномасштабной карты лавин в нашей стране пока еще далеко не отработан и, хотя примеры составления таких карт многочисленны, в настоящее время систематического крупномасштабного картографирования лавин не проводится, и карты эти покрывают очень небольшие по площади участки. То же самое, относится к крупномасштабному картографированию лавин за рубежом, где чаще всего составляются в практических целях карты, фиксирующие пути схода лавин. Реже - но несколько таких интересных примеров все же есть - разнородные карты с более глубоким и интересным специальным содержанием, характеризующие различные черты лавинной деятельности [9].

В 1980-1990 годы в связи нуждами строительных организаций для освоения горных территорий появилась потребность перехода к мелкомасштабному обзорному картографированию лавин на всей территории Таджикистана. При этом предъявляются серьезные требования более достоверного и более подробного отражения степени лавинной опасности. Первая карта лавинной опасности была составлена А.В. Руничевым и А.Г. Санниковым в масштабе 1:3000 000 для Атласа Таджикской ССР еще в 1968 г. [1]. В 1983 Усковым Ю.С. карта лавины в масштабе 1:500 000 была составлена для атласа «Природные ресурсы Таджикистана» (КИПР - Комплексная инвентаризация природных ресурсов) [2].

В 2010 году для ряда районов республики Таджикистан и Республики

Кыргызстан в рамках проекта «Устойчивое управление землепользованием в высокогорье Памиро-Алая – интегрирования и трансграничная инициатива Центральной Азии» был разработан «Атлас карт природных опасностей высокогорья Памира и Памиро-Алая Республики Таджикистан» [3] и «Атлас карт природных опасностей высокогорья Памиро-Алая Республики Кыргызстан и Республики Таджикистан» [4]. В Атласе карт природных опасностей высокогорья Памира и Памиро-Алая Республики Таджикистан, приведены карты (селевая опасность, оползневая опасность и лавинная опасность) в векторных слоях природных опасностей территории Ишкашимского, Шугнанского, Мургабского и Лахшского районов и шести джамоатов (сельские советы) географически принадлежащие к Памиру и Памиро-Алайскому высокогорью [8].

Мелкомасштабное картографирование лавин может идти двумя путями [7]. Первый метод - составление обзорных карт по крупномасштабным специальным картам лавин - дает наибольшую достоверность, но в настоящее время материалов для составления обзорных карт таким путем в Таджикистане практически нет. Поэтому более актуальным является второй метод - составление обзорных карт лавин без предварительного крупномасштабного картографирования их. Такое составление осуществляется в основном в результате анализа условий лавинообразования. В случае составления обзорных карт лавин для значительных по площади территорий путем сбора материалов непосредственных наблюдений за лавинами, проведения аэровизуальных обследований, дешифрирования космоснимков.

При втором методе составления карт (обзорном картографировании без предварительного крупномасштабного картографирования) обычно мы имеем дело с двумя этапами составления [7]. Первый из них - сбор и нанесение на карту всех фактических данных о сходе лавин, включая результаты дешифрирования космоснимков и данные аэровизуальных наблюдений. Анализ фактических данных о сходе лавин позволяет выбрать критерии для оценки природных условий с точки зрения лавинообразования. Второй и основной этап - это анализ и оценка условий лавинообразования - рельефа, высоту снежного покрова, который осуществляется для всей территории в основном по картографическим источникам. В результате такой оценки решается вопрос о лавиноопасности территории. Именно этот метод составления обзорных карт лавинной опасности был отработан и широко использовался нами при составлении карты лавиноопасных склонов в масштабе 1:500 000, и это несмотря на то, что карта высота снежного покрова для нашей республики имеется в очень мелком масштабе – 1:3000 000 [5].

**Лавиннообразующие факторы.** В процессе исследования обрушения лавин

были выявлены общие для различных горных регионов ведущие факторы и определен характер их воздействия на лавинообразование. Влияние на процесс лавинообразования оказывают не только перечисленные факторы, но и их сочетание. Уже во время отложения снега на земную поверхность осуществляется влияние многих процессов. Форма и размер кристаллов снега, характер залегания и плотность поверхностного слоя определяются температурой воздуха, направлением и скоростью ветра, формой и параметрами подстилающей поверхности. Преобладание того или иного типа метаморфизма снежной толщи, характер ее эволюции являются функцией действия самых разнообразных факторов [8].

**Методика исследований в лавиноопасных районах, способы прогноза лавин.** Изучение лавин приобретает особую важность в связи с ростом лавиноопасности во всём мире вызванным таянием ледников в горах и высокой популярности зимних видов спорта. Активно ведется строительство горнолыжных курортов в лавиноопасных районах, что вызывает необходимость учета лавиноопасности при проектировании спортивных и рекреационных объектов, а также строительство защитных сооружений, что в свою очередь, обуславливает необходимость серьёзных инженерных, в том числе, инженерно-геологических изысканий.

Для оценки вероятности схода лавин свежеснегавшего и метелевого снега используют 10 основных нижеуказанных лавинообразующих факторов [7].

1. Высота старого снега. Снег сначала заполняет неровности на склоне, и лишь после этого может возникнуть ровная гладкая поверхность, способствующая соскальзыванию новых слоев снежного покрова. Поэтому чем больше высота старого снега до начала снегопада, тем больше вероятность образования лавины.

2. Состояние старого снега и его поверхности. Характер поверхности снега влияет на сцепление свежеснегавшего снега со старым. Гладкая поверхность ветровых снежных плит или ледяная корка благоприятствуют сходу лавин. Особенно предрасполагает к лавинообразованию наличие слоев и прослоек глубинной изморози. Шероховатая поверхность, ветровые заступы, ноздреватые корки от дождя, наоборот, уменьшают возможность лавинообразования.

3. Высота свежеснегавшего или отложенного метелью снега. Увеличение высоты снежного покрова - один из важнейших факторов лавинообразования. Количество выпавшего снега часто используется в качестве показателя потенциальной лавинной опасности. Для каждого района есть определенные критические высоты свежего снега, при превышении которых возникает лавинная опасность.

4. Вид свежеснегавшего снега. Тип выпадающих твердых осадков влияет на

механические свойства снежного покрова и его сцепление со старым снегом. Так, при выпадении призматических и иглообразных кристаллов или звездчатых кристаллов в морозную безветренную погоду образуется рыхлый снежный покров, характеризующийся малым сцеплением. Если же температура воздуха около  $0^{\circ}$ , то снежинки вовремя падения могут соединяться и выпадать в виде крупных хлопьев. В результате снежный покров быстро уплотняется. Наибольшая вероятность образования лавин возникает при формировании покрова из свежеснежавшего пушистого и сухого мелкозернистого снега.

5. Плотность свежеснежавшего снега. Наибольшая вероятность образования лавин наблюдается при образовании снежного покрова малой плотности - менее  $100 \text{ кг/м}^3$ . Повышение плотности снега уменьшает вероятность возникновения лавин, но это правило не относится к снежным плитам, образующимся во время метелей.

6. Интенсивность снегопада (скорость отложения снега). При малой интенсивности снегопада уменьшение показателя устойчивости снежного покрова на склоне в результате увеличения сдвигающих усилий компенсируется увеличением устойчивости за счет повышения сцепления и коэффициента трения при уплотнении снега. Но мере увеличения скорости отложения снега влияние увеличения его массы преобладает над влиянием его уплотнения, и создаются условия для уменьшения устойчивости снежного покрова и образования лавин.

7. Количество и интенсивность выпадения осадков - 3 фактор, характеризующий приращение массы снега на единицу площади горизонтальной проекции склона, в том числе с учетом жидких осадков и метелей.

8. Оседание снега. Процессы уплотнения и оседания выпадающего снега увеличивают его сцепление и коэффициент внутреннего трения и этим способствуют повышению устойчивости снежного покрова. На лавинообразование иногда оказывает влияние оседание старого снега (например, неравномерные осадки снега под прочной снежной плитой могут привести к излому плиты и нарушению ее устойчивости).

9. Ветер. Ветровой перенос приводит к перераспределению снежного покрова, образованию твердых корок, снежных плит и надувов. Ветер образует снежные карнизы и ниже их - скопления рыхлого снега. Сильный ветер создает подсос воздуха из снежной толщи, чем способствует миграции водяных паров и разрыхлению нижних слоев снега. В процессах лавинообразования ветер играет важную роль, особенно как фактор метелевого снегопереноса.

10. Температура. Влияние температуры на лавинообразование многостороннее. Температура воздуха влияет на вид выпадающих частиц твердых осадков, на формирование, уплотнение и температурный режим

снежного покрова. Различия в температуре снежного покрова по глубине определяют и процессы температурного метаморфизма. Быстрое понижение температуры воздуха может приводить к образованию температурных трещин разрыва снежного пласта и возникновению лавин.

*Краткий обзор методов прогноза снежных лавин.* Прогноз лавинной опасности является частью комплекса мероприятий, направленных на защиту от лавин населения и хозяйственных объектов в горных районах. Принятое в гляциологии определение «прогноз схода лавин» (прогноз лавинной опасности) подразумевает предсказание периода лавинной опасности, времени и масштабов схода лавин.

Накопленный объем теоретических знаний об особенностях распространения и образования снежных лавин, а также значительный массив фактических данных о сходе лавин позволяют перейти к разработке теоретических основ прогноза снежных лавин. Для этого рассчитывается повторяемость лавиноопасных ситуаций, внутри-сезонное распределение генетических типов лавин и определение межгодовых колебаний лавинной активности [5]. Особое внимание уделяется методам оценки и прогноза особо крупных и катастрофических лавин. Выявляются качественные и количественные характеристики циркуляционных процессов и метеорологических условий, обеспечивающих массовый сход особо крупных лавин. На основании районирования горных территорий по условиям массового схода лавин составляются схемы повторяемости катастрофических лавин. Для установления времени схода лавин и дальности их выброса используются дендрохронологические, палеогеографические и фотограмметрические методы. Они позволяют определить ритмы снежности и периоды повышенной лавинной активности. Исследуются вопросы изменения лавинной активности в связи с возможным глобальным потеплением климата.

Для разных типов объектов при одинаковых геофизических параметрах лавинной деятельности степень лавинной опасности будет различаться, так как уязвимость объектов в отношении воздействия снежных лавин отличается. Для оценки лавинной опасности первоначально необходимо определить типы объектов, по отношению к которым будет производиться данная оценка на конкретной территории, и геофизические параметры лавинной деятельности. Затем следует выявить уязвимость каждого из выделенных объектов по отношению к воздействию снежных лавин, а саму оценку лавинной опасности производить для каждого из выраженных объектов по отдельности [6].

#### Литература

1. Атлас Таджикской ССР. Душанбе, М.: ГУГК, 1968. - 199 с.
2. Атлас КИПР Республики Таджикистан. Масштаб 1:500 000, Душанбе-Москва: ГУГК,

1983. - 83 с.
3. Атлас карт природных опасностей высокогорья Памира и Памиро-Алая Республики Таджикистан. – Б: 2010. – 87 с.
  4. Атлас карт природных опасностей высокогорья Памиро-Алая Республики Кыргызстан и Республики Таджикистан. – Б:2010. – 69 с.
  5. Ашуров Н., Мамадалиев Б.Н., Яблоков А.А. Грозные явления природы в Таджикистане. «Мир путешествий», Душанбе, 1999, с.-66 – 81.
  6. Викулина М.Л. Оценка лавинной активности, опасности и риска (на примере Хибин): автореф, дис ... канд. геогр. наук / М.Л. Викулина. - М.: Изд-во МГУ, 2009.
  7. Лавиноопасные районы Советского Союза. Под редакцией профессора Г.К. Тушинского. Из-во МГУ, 1970. – 191 с.
  8. Саидов М.С. Отчет. Карта лавиноопасных склонов. - Д.: 2016. - 39 с.
  9. Seto R. About compiling of the map Series of Snowfall-Map. «J. Japan cartograp. Assoc.», 1964, vol. 2, No. 1.

УДК 455.4 (235.211)

## **ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА ЛЕДНИКИ ТАДЖИКИСТАНА**

**Салихов Ф.С.<sup>1</sup>, Шодии Бек<sup>2</sup>**

***Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе<sup>1</sup>(г. Душанбе, РТ)  
Таджикский национальный университет<sup>2</sup>(г. Душанбе, РТ)***

*Аннотация.* В работе приводятся новые сведения об изменении площади оледенения в основных горно-ледниковых узлах на территории Таджикистана и прилегающих районов за вторую половину XX столетия. В условиях изменения климата и глобального потепления проблема рационального использования водных ресурсов является самой актуальной.

*Ключевые слова:* ледник, оледенение, климат, пульсация, деградация, Таджикистан.

**GLOBAL WARMING IMPACT FEATURES ON THE GLACIERS OF TAJIKISTAN**

**Salikhov F.S.<sup>1</sup>, Shodia Bek<sup>2</sup>**

***Lomonosov Moscow State University in Dushanbe<sup>1</sup>(Dushanbe, RT)  
Tajik National University<sup>2</sup>(Dushanbe, RT)***

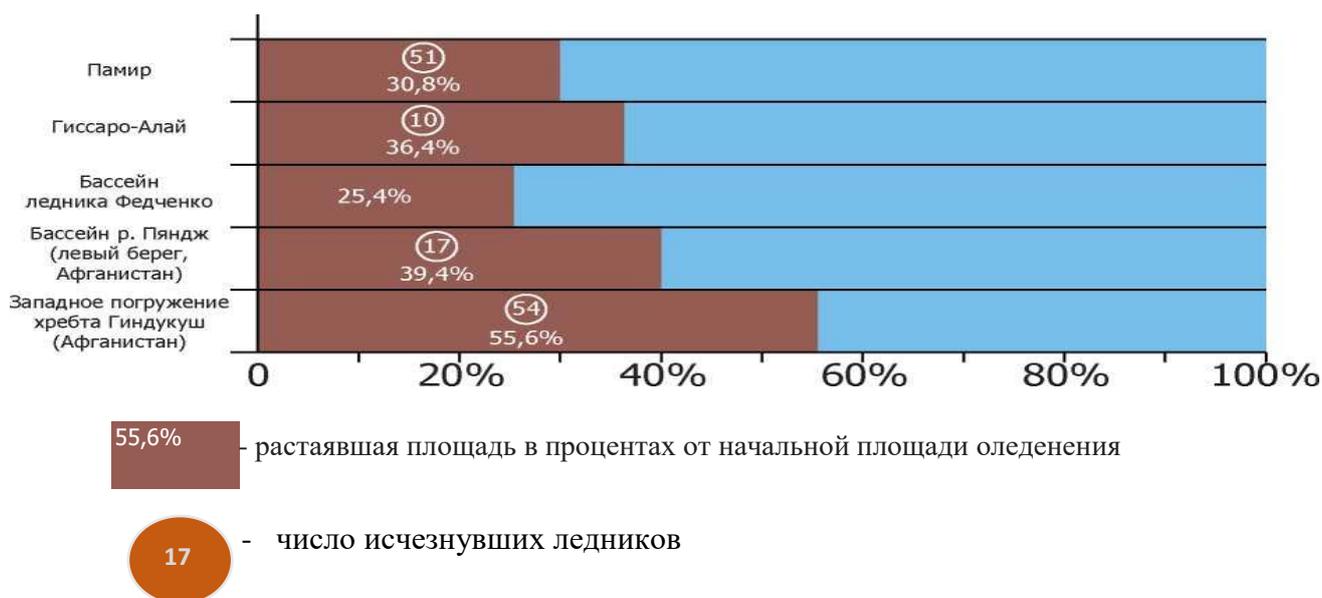
*Annotation.* The article presents new information about the change in the area of glaciation in the main mountain-glacier knots in the territory of Tajikistan and adjacent regions in the second half of the 20th century. In the context of climate change and global warming, the problem of rational use of water resources is the most urgent.

**Key words:** glacier, glaciation, climate, pulsation, degradation, Tajikistan.

Горные ледники особенно интенсивно реагируют на глобальное потепление. Эти ледники накапливают снег зимой, постепенно превращают его в лед, а летом превращают лед в воду. По данным метеорологов в настоящее время твердых осадков выпадает меньше нормы, и ледники не успевают восполнить свои запасы льда, а летом расходуют больше льда, чем получают его зимой [1]. В результате площадь оледенения и объем льда в ледниках постепенно

уменьшаются [2]. И этот процесс с каждым годом становится все более очевидным и заметным. Подсчитано, что ледники Таджикистана (табл.1) в XX веке потеряли свыше 20 км<sup>3</sup> (из почти 600 км<sup>3</sup>) чистой массы льда [3].

Исследованиями, проведенными в последние 30 лет и охватывающими вторую половину прошлого столетия (1945-1985 гг.) установлено непрекращающееся сокращение оледенения в Таджикистане [4-8]. Факты деградации следующие: за вторую половину XX столетия в бассейнах рек Таджикистана полностью прекратили свое существование 132 ледника площадью 1-2 км<sup>2</sup> (рис. 1).



**Рисунок 1.** Изменение площади оледенения и числа ледников Таджикистана и прилегающих районов за вторую половину XX века [1].

Результаты исследований показывают, что маленькие ледники более чувствительны к глобальному потеплению [9]. Но усиленное отступление небольших ледников и изменения климата влияют на устойчивость крупных ледников [10]. Пульсирующие ледники известны во многих районах мира. Их быстрые подвижки часто приводят к образованию подпрудных озер, прорывы которых вызывают катастрофические паводки и сели. В связи с этим очень важно научиться предсказывать такие подвижки.

Наиболее изученным и единственным пока пульсирующим ледником, наблюдения на котором велись в течение всего периода пульсации, является ледник Медвежий на Памире. Пульсация ледника происходит раз в 10-12 лет. Для этого ледника характерны быстрые подвижки, в результате которых ледниковый язык продвигается в течение нескольких месяцев на 2 км вниз по долине и перегораживает долину р. Абдукагор, где быстро наполняется подпрудное озеро объемом 17-20 млн. м<sup>3</sup>. Опасность и угрозу всегда представляют прорывы озера, которые вызывают катастрофический паводок на

р. Ванч и разрушения в Ванчской долине. Известны подвижки ледника Медвежий в 1916, 1937, 1951, 1963 и 1973 годах. В настоящее время ледник находится в покое. Выявленные закономерности его динамики послужили основой для прогноза очередной подвижки ледника, который полностью оправдался [4, 5].

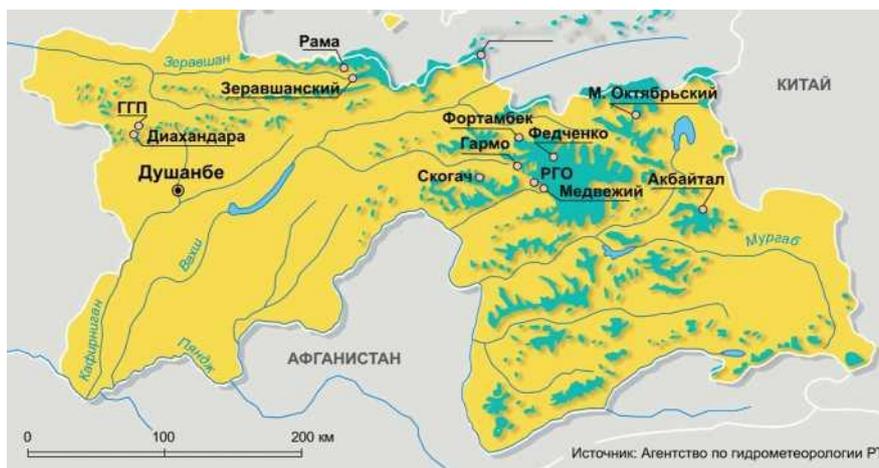
Сегодня привлекает внимание ученых и исследователей пульсирующий ледник Кашолаях (Кашал-Аяк) (тягучий лед - *тадж.*), который расположен в нескольких километрах от ледника Медвежий. По данным Агентства по гидрометеорологии РТ ледник начал свое движение в 2000 году со скоростью 150 м в год. Считается, что Кашолаях приходит в движение раз в 130-150 лет, последний раз ледник приходил в движение в 19 веке с катастрофическими последствиями [5].

С 1973 по 1990гг. были отмечены более 25 случаев пульсации ледников (Большой Саукдара, Малый Саукдара, Вали и Дзержинского в бассейне р. Саукдара, ледников Фортанбек, Бырс, Музгазы в бассейне р. Муксу, Медвежий в бассейне р. Ванч и другие). Из общего числа пульсирующих ледников - 45 расположены в бассейне р. Вахш.

Советским гляциологом П.А.Шумским разработана система зон льдообразования, которая позднее была уточнена [9,11,12]. Всего выделено шесть зон льдообразования и зона абляции.

Начиная с 2001года, Агентством по гидрометеорологии Республики Таджикистан проводится регулярное обследование снежных запасов и ледников с вертолета. За эти годы были обследованы 7 ледников: Медвежий, РГО, Акбайтал, ГГП, Дехкондара, Федченко и Яккарча [13]. Полученные новые данные обследования на основании визуальных наблюдений и космических снимков Google Earth подтвердили факт деградации ледников в условиях глобального потепления на территории Республики Таджикистан.

Тенденция к потеплению в высокогорных районах Таджикистана, в большей степени на Памире и Зеравшане, объясняется «ответом» на глобальное и региональное потепление и значительно влияет на самые чувствительные природные ресурсы - а именно на ледники. В 2006 проводились исследования только в нижнем профиле ледника Федченко, расположенном в 7 км от его языка (рис.3). Таким образом, за 26-летний период (1980-2006 гг.) он сократился на 50 м или, примерно, на 2 м в год. В 1979 г. толщина языка ледника Федченко уменьшилась на 40-50 м, а в 1998 г. на 20-25 м (рис. 4).



**Рисунок 2.** Карта оледенения Таджикистана.

Площадь оледенения составляет 12000-14000 км<sup>2</sup>, объем льда - 600-1000 км<sup>3</sup>.



**Рисунок 3.** Оседание поверхности ледника Федченко. Съемка поперечного профиля [1].

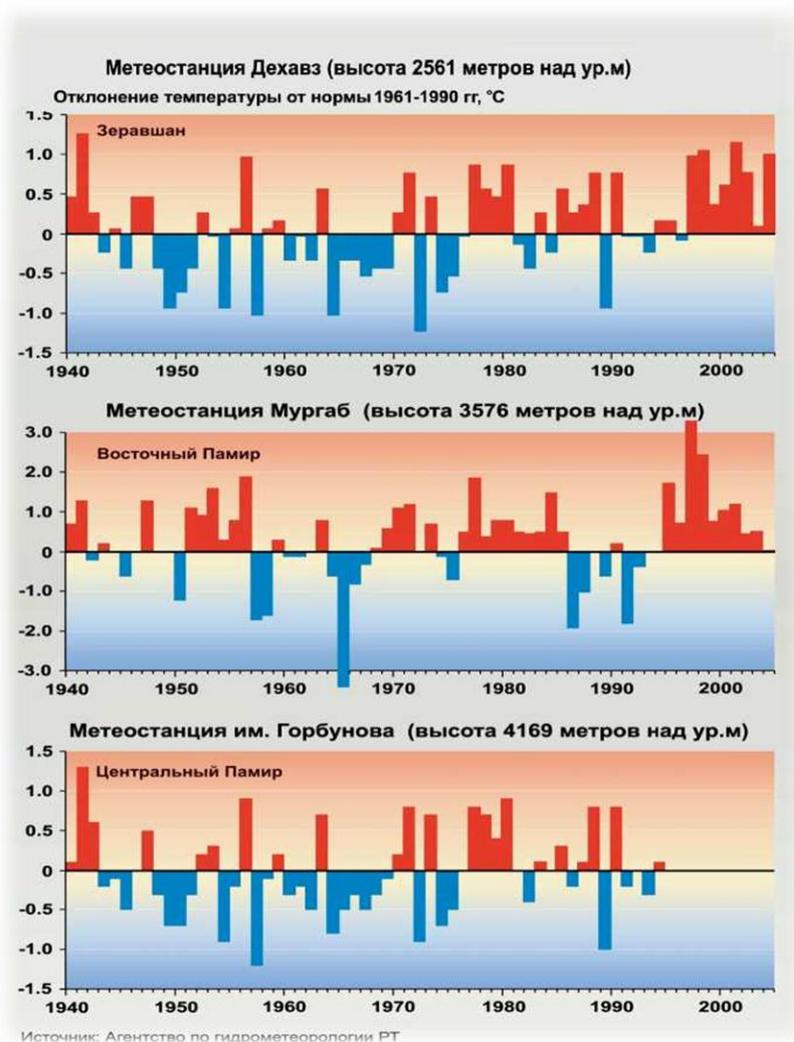
За последние 25 лет поверхность ледника в его нижней части уменьшилась на 50 м и покрылась многочисленными гляциальными озерами и мореной. Ледник Федченко не только тает, но и «худеет». В период 1976-1988 годов ледник потерял около 1,8 км<sup>3</sup> льда только в своем основном створе [14].

Ледник Гармо покрыт мореной и обломками и тает наиболее интенсивно.

Зачастую скорость таяния ледника может достигать 100 м в год. С начала первых наблюдений с 1932 по 2006 ледник отступил более чем на 7 км, что считается одним из самых существенных отступлений по сравнению с другими ледниками ЦА за этот же период.

Существенные изменения произошли и с другими ледниками. К концу 20 века, ледник Саукдара на Памире отступил на 2 км, а ледник Зеравшанский более

чем на 1 км. Сотни маленьких ледников, таких как ледник Дихандара (площадью менее 1 км<sup>2</sup>) полностью растаяли - только пыль и морена указывают на их бывшее существование.



**Рисунок 4.** Изменение среднегодовой температуры [1].

Согласно спутниковым снимкам, интенсивно отступают ледники на левобережье реки Пяндж (Аму-Дарья) в Афганской части Бадахшана (Сафеди-Хирс, Кухи-Лал, Гиндукуш, Вахан). Анализ картографических материалов 1950-х и 1980-х гг., а также последние спутниковые снимки позволяют сказать, что ледники Афганистана сократились почти на 50-70% [15,16].

### **Заключение**

Проведенные исследования по изучению динамики снежноледовых образований в различных областях Памиро-Тяньшанского региона позволили установить, что за 40 лет двадцатого столетия (1945-1985 гг.) общая площадь оледенения Таджикистана сократилась на треть (31,6% от общей площади 8492 км<sup>2</sup> в 1945-1949 гг.). В бассейнах рек Таджикистана растаяли 132 малых ледника.

Исследователями предполагается, что процесс уменьшения площади оледенения объясняется повышением общего температурного фона в регионе и изменением характера выпадения осадков, обусловленных развитием в последнее время «парникового эффекта» и влиянием Средиземноморских и Атлантических циклонов.

Существует несколько прогнозов возможных изменений оледенения Памиро-Алая в будущем [17-19]. Например, одни говорят о более быстром исчезновении ледников на периферийных, наиболее низких хребтах Памира [18]. По прогнозу других при возможном повышении температуры воздуха на 1,0-2,3° наибольший подъем высоты границы питания произойдет на Восточном Памире, и оледенение здесь может полностью исчезнуть в связи с его неблагоприятным орографическим положением [17].

### Литература

1. Пильгуй Ю.Н., Саидов М.С., Хомидов А.Ш., Шакиржанова Г.Н. Ледники Таджикистана в условиях изменения климата. Изд-во ООО «Мир Полиграфии», Душанбе, 2008 г.
2. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Ледники. - М.: Мысль, 1989. (Природа мира). С.4-34.
3. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б., Рототаева О.В. Морфометрическая характеристика современного оледенения гор Средней Азии. Материалы гляциологических исследований. М., 1972. Вып. 20. С.169-184.
4. Дильмурадов Н., Соколов Л.Н. Пульсирующие ледники Таджикистана. Изв. АН Тадж.ССР. Отд. физ.-мат., химии, и геологии. Душанбе, 1983, С.83-91.
5. Дильмурадов Н. Пульсация ледника Медвежьего на Западном Памире. Докл. АН Тадж.ССР, 1989, том XXI, № 9, С.615-616.
6. Ананичева М.Д., Давидович Н.В. Возможные изменения некоторых характеристик оледенения Памиро-Алая при глобальном потеплении климата. МГИ. 1997. Вып. 83. С.59-64.
7. Кононов Ю.М., Лебедева И.М. Многолетний режим абляции ледников Памиро-Алая. МГИ. 1999. Вып. 87. С.84-94.
8. Глазырин Г.Е., Финаев А.Ф. Прогноз изменения оледенения гор Западного Таджикистана. МГИ. 2003. Вып. 95. С.102-106.
9. Шумский П.А. Основы структурного ледоведения. М.: Изд. АН СССР, 1955. 492 с.
10. Гляциологический словарь. Под ред. В.М.Котлякова. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 528 с.
11. Майер М. Дистанционное зондирование снега и льда. Материалы гляциологических исследований. Вып. 42, М., 1982, С.213-232.
12. Забиров Р.Д. Ледник Географического Общества//Побежденные вершины. М.: Мысль, 1950. С.53-67.
13. Пильгуй Ю.Н. Состояние оледенения в Таджикистане. Сб. тезисов. Международная конференция по региональному сотрудничеству в бассейнах трансграничных рек. Душанбе, 2005.
14. Осипова Г.Б., Цветков Д.Г. Памиро-Алай. В книге Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху: /отв. ред. В.М.Котляков; РАН, Ин-т географии. - М.: Наука, 2006.- С.163.
15. Лебедева И.М., Ларин А.Д. Ледниковая система Афганистана: морфология, климат, массообмен, сток. Материалы гляциологических исследований. Вып.72, М., 1991, С.76-87.
16. Десинов Л.В., Иванченко А.С., Котляков В.М., Носенко Г.А. Результаты эксперимента по изучению оледенения Каракорума с борта орбитальной станции «Салют-6». Материалы гляциологических исследований. Вып.42, М., 1982, С.18-22.

17. Ананичева М.Д., Давидович Н.В. Возможные изменения некоторых характеристик оледенения Памиро-Алая при глобальном потеплении климата. МГИ. 1997. Вып. 83. С.59-64.
18. Кононов Ю.М., Лебедева И.М. Многолетний режим абляции ледников Памиро-Алая. МГИ. 1999. Вып. 87. С.84-94.
19. Глазырин Г.Е., Финаев А.Ф. Прогноз изменения оледенения гор Западного Таджикистана. МГИ. 2003. Вып. 95. С.102-106.

УДК 551.324

## ЛЕОНИД ДМИТРИЕВИЧ ДОЛГУШИН – ВЫДАЮЩИЙСЯ УЧЁНЫЙ-ГЛЯЦИОЛОГ

**Смуrow А.В., Дубинин Е.П., Лаптева Е.М., Филатова В.Е.**  
*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,*  
*Музей землеведения Московского государственного университета*  
*имени М.В. Ломоносова (г. Москва, РФ)*  
*smr49@mail.ru*

***Аннотация.** Долгушин Л.Д. – выдающийся российский ученый, исследователь ледников Арктики и Антарктиды. Изучал ледники Тянь-шаня, Нань-шаня; открыл очаги оледенения на Урале, доказал возможность прогноза подвижек пульсирующих ледников на примере ледника Медвежий на Памире. Содействовал становлению гляциологии в Китае. Руководил отделом и создал оригинальные экспозиции в Музее землеведения МГУ имени М.В. Ломоносова.*

***Ключевые слова:** Гляциология, Долгушин Л.Д., полярник, ледники Урала, Антарктика, тянь-шань, Нань-Шань, очаги оледенения, пульсирующие ледники, китайско-советское научное сотрудничество 1958-1959, Ланьчжоуский институт гляциологии и геокриологии, Музей землеведения МГУ имени М.В. Ломоносова.*

## LEONID DMITRIEVICH DOLGUSHIN – THE OUTSTANDING GLACIOLOGIST

**Smurov A.V., Dubinin E.P., Lapteva E.M., Filatova V.E.**  
*Lomonosov Moscow State University, Museum of Geosciences Lomonosov Moscow State*  
*University (Moscow, RF)*

***Annotation.** Dolgushin L.D. is the outstanding Russian scientist, a researcher of glaciers in the Arctic and Antarctic. He studied the glaciers of the Tien Shan and the Nan Shan; discovered glaciation foci in the Urals, proved the possibility of predicting the movements of pulsating glaciers on the example of the Medvezhiy Glacier in the Pamir Mountains. He contributed to the formation of glaciology in China. He headed the department and created original expositions at the Earth Science Museum at Lomonosov Moscow State University.*

***Keywords:** The glaciology, Dolgushin L.D., a polar researcher, the glaciers of The Urals, The Antarctic, The Tien Shan, The Nan Shan, the glaciation foci, pulsating glaciers, Cino-Soviet scientific cooperation, Institute of Glaciology in Lanzhou, The Earth Science Museum at Lomonosov Moscow State University.*

Выдающийся учёный-географ, полярный исследователь Леонид Дмитриевич Долгушин был человеком необычайной судьбы. Его насыщенная творческая биография, многогранная научная деятельность и незаурядные качества

характера позволяют говорить о нём как о легендарной личности – патриархе гляциологии.

Родился Леонид Дмитриевич 24 мая 1911 г. в таежном поселке Лолог Пермского края в семье бывшего народного учителя. Его отец работал заведующим лесной дачей, а затем управляющим кирпичным заводом. Когда у старших детей подошел школьный возраст, родители перебрались поближе к цивилизации в рабочий поселок Усть-Игум Кизеловского района Пермской области. После окончания Сарапульского педагогического техникума Леонид Дмитриевич два года работал учителем начальной школы в Челябинской области, завучем Сарапульской школы и преподавателем обществоведения, а затем получил путевку на учебу и уехал в Москву. Проучившись на социально-экономическом факультете один год, Леонид Дмитриевич ушел добровольцем в РККА (Рабоче-крестьянскую Красную Армию). После демобилизации в 1935 г. сдал экстерном экзамены за 3 курс географического отделения Московского областного педагогического института (МОПИ), где в эти годы преподавали известные географы: Н.Н. Баранский, А.С. Барков, В.А. Варсанофьева. Интерес к вопросам геоморфологии Урала формировался у Л.Д. Долгушина именно под влиянием В.А. Варсанофьевой – известнейшего специалиста в этой области. После окончания института он получил рекомендацию в аспирантуру Географического института (НИИГ) при географическом факультете МГУ.

Во время пребывания в аспирантуре Долгушин работал по договору научным сотрудником в Печорской экспедиции АН СССР в 1938 г и в Полярно-Уральской экспедиции АН СССР и Уральского геологического управления в качестве начальника геоморфологического отряда. Его первые научные работы в 1939-40 гг. были посвящены формам рельефа области вечной мерзлоты и снежному покрову.

Окончив аспирантуру, он получил назначение в г. Сыктывкар в Коми государственный педагогический институт на должность заведующего кафедрой географии и геологии, продолжая работать над кандидатской диссертацией по геоморфологии Камо-Печорского водораздела.

Перед самым началом Великой Отечественной войны Долгушин приехал в Москву и стал работать в должности ученого секретаря Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья (ВИМС). В феврале 1942 г. Л.Д. Долгушина призвали в армию и по окончании курсов в Свердловске направили на Северо-Западный фронт командиром пулеметной роты 133-й отдельной стрелковой бригады в звании лейтенанта. Он принимал участие в боях весной, летом и осенью 1942 г., получил тяжелые ранения и был демобилизован из армии. Один осколок Леонид Дмитриевич носил в груди 70 лет до конца своих дней.

Вернувшись в ВИМС уже на должность инженера-геолога, Л.Д. Долгушин сразу выехал в составе оловорудной экспедиции в Южное Забайкалье, а в следующем 1944 г. занимался геоморфологией и поисками рассыпных месторождений олова в Сихотэ-Алине [1]. В 1945 г. по предложению бывшего начальника Полярно-Уральской экспедиции Н.А. Сирина и при его научном руководстве Долгушин возглавил полевую партию по поискам на Приполярном Урале облицовочных кварцитов для строительства Дворца Советов в Москве. С небольшим отрядом была обследована обширная, ранее почти неизвестная часть Приполярного Урала, открыт новый очаг современного оледенения, собран интересный материал по геоморфологии и древнему оледенению. В процессе многолетних полевых исследований на Приполярном, Полярном и Северном Урале лично Л.Д. Долгушиным открыто и задокументировано более 40 ледников (примерно 1/3 их общего количества, известного в настоящее время). В названиях этих ледников он увековечил на карте Урала имена своих учителей, предшественников, крупных геологов и географов: А.И. Воейкова, В.А. Обручева, А.А. Григорьева, Г.Д. Рихтера, Н.А. Сирина, А.А. Чернова, А.Н. Алешкова, Г.А. Авсюка, К.К. Маркова, Г.Г. Тушинского, П.А. Шумского, Д.Н. Анучина, А.А. Борзова. Именем Института географии АН СССР назван крупнейший по площади уральский ледник – ИГАН, а самый длинный и живописный – в честь 200-летия Московского государственного университета получил название МГУ.

В 1946 г. Л.Д. Долгушин защитил диссертацию «Роль современных процессов денудации в моделировке рельефа Приполярного Урала». На основе диссертации в 1951 г. вышла книга [2], ставшая настольной для многих географов, работавших на Урале. После защиты диссертации Леонид Дмитриевич поступил на работу в Институт Географии АН СССР. Много лет возглавлял Полярно-Уральскую экспедицию, участвовал в высокоширотной экспедиции «Север-7» в 1955 г. по изучению ледников островных архипелагов Арктики.

В Первой Комплексной Антарктической экспедиции Академии наук и Министерства морского флота в 1955-1957 гг. Л.Д. Долгушин зимовал на первой в мире внутриматериковой антарктической станции «Пионерская». Тогда впервые были проведены детальные исследования на ледниковом куполе Восточной Антарктиды, выявлено температурное состояние, закономерности формирования и динамики снежного покрова; выделены природные зоны Восточной Антарктиды, составлены первые гляциологические карты района работ КАЭ и выводных ледников Денмена, Скотта и Обручева; по оригинальной методике определены скорости движения края ледникового покрова на протяжении нескольких сотен километров. Дана классификация форм мезо- и микрорельефа ледниковой поверхности, выделены основные типы ледников и

айсбергов [3, 4, 5].

В 1958 и 1959 гг. по соглашению Академий наук СССР и Китая Долгушин осуществлял научное руководство и готовил кадры китайских гляциологов в Экспедиции Академии наук Китая по изучению высокогорных льдов и снегов Нань-Шаня и Центрального Тянь-Шаня. Впоследствии на базе этой экспедиции был создан Ланьчжоуский институт гляциологии и геокриологии, основной костяк которого составили ученики Л.Д. Долгушина. Совместно с китайскими исследователями впервые определены масштабы и основные характеристики горного оледенения, составлен каталог ледников и серия карт, установлен низкотемпературный режим ледников Нань-Шаня, выделена особая центрально-азиатская ледниковая провинция [6]. За эту работу правительство КНР наградило его медалью «Китайско-Советской дружбы». Спустя 30 лет китайские гляциологи пригласили Л.Д. Долгушина на юбилей Ланьчжоуского института и предоставили ему возможность в течение месяца путешествовать по стране по любому маршруту.

В докторской диссертации Леонид Дмитриевич обобщил свой громадный опыт по исследованию ледников. Защита состоялась на ученом совете Института географии АН СССР в июне 1963 г. на тему «Региональные проблемы гляциологии по исследованиям на Урале, в Центральной Азии и в Антарктиде» [7]. Было представлено 43 публикации по теме диссертации на русском и иностранных языках и обобщающий научный доклад. Защита прошла успешно, и Высшая аттестационная комиссия присвоила Долгушину Леониду Дмитриевичу ученую степень доктора географических наук.

В 1960-е и 1970-е годы Долгушин изучал ледники Средней Азии. Возглавляемая им экспедиция Института географии проводила полевые исследования и опыты по искусственному усилению таяния ледников с целью увеличения стока вод для орошения хлопковых полей. Весной 1963 г. произошла мощная подвижка ледника Медвежий на Памире, и экспедиция оперативно переключилась на изучение пульсирующих ледников. Эта катастрофа нанесла значительный ущерб населению и объектам народного хозяйства – паводок в результате прорыва подпруженного ледником озера снес мосты в долине р. Ванч, аэродром и посёлок, повредил дорогу и линию электропередачи, затопил территорию пограничной заставы. Возглавляемая Л.Д. Долгушиным экспедиция начала детальные исследования ледника и его динамики, широко используя фототеодолитные методы, позволившие достаточно точно измерять основные параметры изменения размеров и формы ледника на разных этапах его эволюции. Была составлена большая серия крупномасштабных карт ледника и обзорная карта его бассейна. Ледник Медвежий многие годы привлекал внимание специалистов – на нем в разное время побывали почти все сотрудники отдела гляциологии Института географии АН СССР и многие гляциологи из

других учреждений.

В течение 10 лет Л.Д. Долгушину и его ближайшей помощнице и соавтору Г.Б. Осиповой удалось проследить эволюцию ледника на протяжении полного цикла пульсации, измерить вещественный баланс ледника и его динамику. Впервые в практике гляциологических исследований они заблаговременно предсказали очередную подвижку ледника на основании прямых полевых наблюдений и измерений и сформулировать принципиальную схему ледниковых пульсаций на прочном фундаменте точно установленных фактов. Результаты работ были доложены на международных и всесоюзных гляциологических семинарах и симпозиумах, опубликованы статьи на русском и иностранных языках. Для фундаментального монографического анализа и обобщения требовалась инструментальная камеральная обработка собранных полевых материалов, результатом которой стала обобщающая монография «Пульсирующие ледники», вышедшая в 1982 г. [8].

В 1977 г. Л.Д. Долгушин пришёл на работу в учебно-научный Музей земледования МГУ, пройдя конкурс на должность заведующего отделом, но связь с Институтом географии АН СССР (ныне РАН) не потерял. Он являлся бессменным членом ученого совета по защитах диссертаций по климатической, гидрологической и гляциологической специальностям, под его руководством защищено 5 кандидатских диссертаций, в том числе *З. Мусоева и других известных гляциологов Таджикистана*, он выступил официальным оппонентом по нескольким десяткам кандидатских и докторских диссертаций.

За время работы в Музее земледования Л.Д. Долгушиным была проведена большая работа по развитию экспозиции отдела «Физико-географические области СССР и мира». Им лично и в соавторстве с другими сотрудниками Музея созданы стенды «Антарктида», «Арктика», «Большая Волга», «Западная Сибирь», «Дальний Восток и Камчатка», «Экологическое состояние Москвы и Московской области», «Экологическое состояние России», несколько оригинальных гляциологических экспонатов о ледниковых катастрофах. В этих экспозициях был реализован огромный научный и экспедиционный опыт Л.Д. Долгушина. Созданные им экспозиции и теперь активно используются в учебном процессе ряда факультетов МГУ. В 2008 г. – в Год Китая в России Леонид Дмитриевич по своим материалам организовал выставку «50-лет китайской гляциологии», в становлении которой он активно участвовал. А так же был разработан большой экспозиционный стенд «Ледники и их динамика».

В сборнике «Жизнь Земли» и других изданиях он опубликовал ряд статей по музейной и гляциологической тематике, регулярно читал лекции на экспозиции для студентов, школьников, иностранных делегаций и других посетителей Музея земледования. В 1989 г. в издательстве «Мысль» увидела свет книга «Природа мира. Ледники» [9], которую географы и гляциологи считают одной из лучших

в этой серии.

Многие годы Леонид Дмитриевич преподавал основы географии и гляциологии и делился впечатлениями о своих увлекательных путешествиях в многочисленных лекциях по линии общества «Знание» на многих предприятиях и во многих учебных заведениях Москвы, Кирова, Киева, Одессы, Харькова, Ростова-на-Дону, Томска, Алма-Аты, Ташкента, Душанбе, Саратова, Новосибирска, Фрунзе, Калининграда, Ижевска, Белгорода, Сарапула, Кишинева и в ряде зарубежных стран: в Китае, Болгарии, Румынии, неизменно получая благодарности слушателей. Эта сфера его деятельности отмечена несколькими почетными грамотами и памятной юбилейной медалью Всесоюзного общества «Знание».

Леонид Дмитриевич Долгушин был награжден Орденом Отечественной войны I степени, медалью «За отвагу», «За победу над Германией», медалью Жукова, медалью «За трудовую доблесть», медалью КНР «Китайско-Советская дружба», 2 медалями ВДНХ, юбилейными и памятными медалями, а также почетными грамотами. Леонид Дмитриевич удостоен звания «Почетный полярник», награжден Грамотой Президента России. Его именем названы ледник, грот и перевал на Полярном Урале.

Леонид Дмитриевич Долгушин прожил большую творческую жизнь, оставаясь человеком исключительно доброжелательным и отзывчивым, обладавшим богатейшей памятью и неизменным чувством юмора. Работал Леонид Дмитриевич Долгушин до конца дней, до 101 с половиной года. Похоронен на Ваганьковском кладбище Москвы. В столице Удмуртии Ижевске в его честь названы две улицы – Долгушина и Полярная.

#### Литература

1. Долгушин Л.Д. Геоморфология Лифудзинского оловорудного района и результаты шлихового опробования // Сб. ВИМС. – М., 1945. – С. 15-45.
2. Долгушин Л.Д. Некоторые особенности рельефа, климата и современной денудации в Приполярном Урале – М.: Изд. АН СССР, 1951. – 208 с.
3. Долгушин Л.Д. Гляциологические наблюдения в Антарктиде // Изв. АН СССР. – М., 1958. – Т. 6. – С. 16-25.
4. Долгушин Л.Д. Географические наблюдения в Антарктиде // М.: Изв. АН СССР. – М., 1958. – С. 28-47.
5. Долгушин Л.Д. Природные зоны Восточной Антарктиды // Информ. Бюллетень Комитета МГГ. – М.: Изд. АН СССР. – 1961. – Т. 1 – С. 44-53.
6. Ган И.Л. Китайская экспедиция по исследованию и использованию горных снежно-ледниковых ресурсов КНР, 1958-1959 // Жизнь Земли. – 2019. – № 4. – С. 472-485. doi: 10.29003/m833.0514-7468.2018\_41\_4/472-485
7. Долгушин Л.Д. Региональные проблемы оледенения по исследованиям на Урале, в Центральной Азии и Антарктиде // Изд. АН СССР. – М., 1963. – 54 с.
8. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Пульсирующие ледники – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 192 с.
9. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Природа мира. Ледники. – М.: Изд. Мысль, 1989. – 447 с.

УДК 551.435.11

## ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ПРОНИЦАЕМОСТИ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА

Спиридонов А.В.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

*(г. Москва, РФ)*

avspir@mail.ru

*Аннотация.* В работе рассматривается применение линеаментного анализа для выявления мест наиболее вероятного проявления источников подземных вод. Линеаменты масштабных уровней 1:100 000 и 1:50 000 показывают хорошую корреляцию с выходами подземных вод. Линеаменты масштаба 1:500 000 с источниками коррелируют плохо, отражая более высокий уровень иерархии блоковой делимости литосферы.

*Ключевые слова:* линеамент, линеаментный анализ, проницаемость осадочных пород, подземные воды.

## LINEAMENT ANALYSIS AS AN INDICATOR OF SEDIMENTARY STRATA PERMEABILITY ON THE EXAMPLE OF SOUTHWESTERN CRIMEA

Spiridonov A.V.

*Lomonosov Moscow State University (Moscow, RF)*

*Annotation.* This paper considers the use of lineament analysis to identify the places of the most probable occurrence of groundwater sources. Lineaments of scale levels 1:100,000 and 1:50,000 show a good correlation with groundwater outflows. Lineaments on a scale of 1:500,000 correlate with outflows badly. It shows a higher level of the hierarchy of block segmentation of the lithosphere.

*Keywords:* lineament, lineament analysis, sedimentary rock permeability, groundwater.

Проблема снабжения населения чистой питьевой водой актуальна во всём мире. Особенную актуальность она приобретает в засушливых районах Малой и Средней Азии, Африки, Южной Европы. В частности, для обширных территорий Степного Крыма, Предкавказья, Прикаспия для водоснабжения населения зачастую не хватает вод поверхностного стока: реки хоть и полноводны, но редки. Одним из способов решения данной проблемы является поиск источников подземных вод или мест наиболее удачного расположения скважин питьевого водоснабжения. Важнейшим параметром таких мест является проницаемость горных пород. Она в последние годы стала одним из вопросов пристального изучения в Московском государственном университете. Эта работа, в частности, проведена в рамках НИР «Новейшая геодинамика и ее влияние на фильтрационные свойства геологической среды» и продолжается в рамках НИР «Моделирование новейших геодинамических процессов, влияющих на сейсмичность и флюидную проницаемость осадочных толщ».

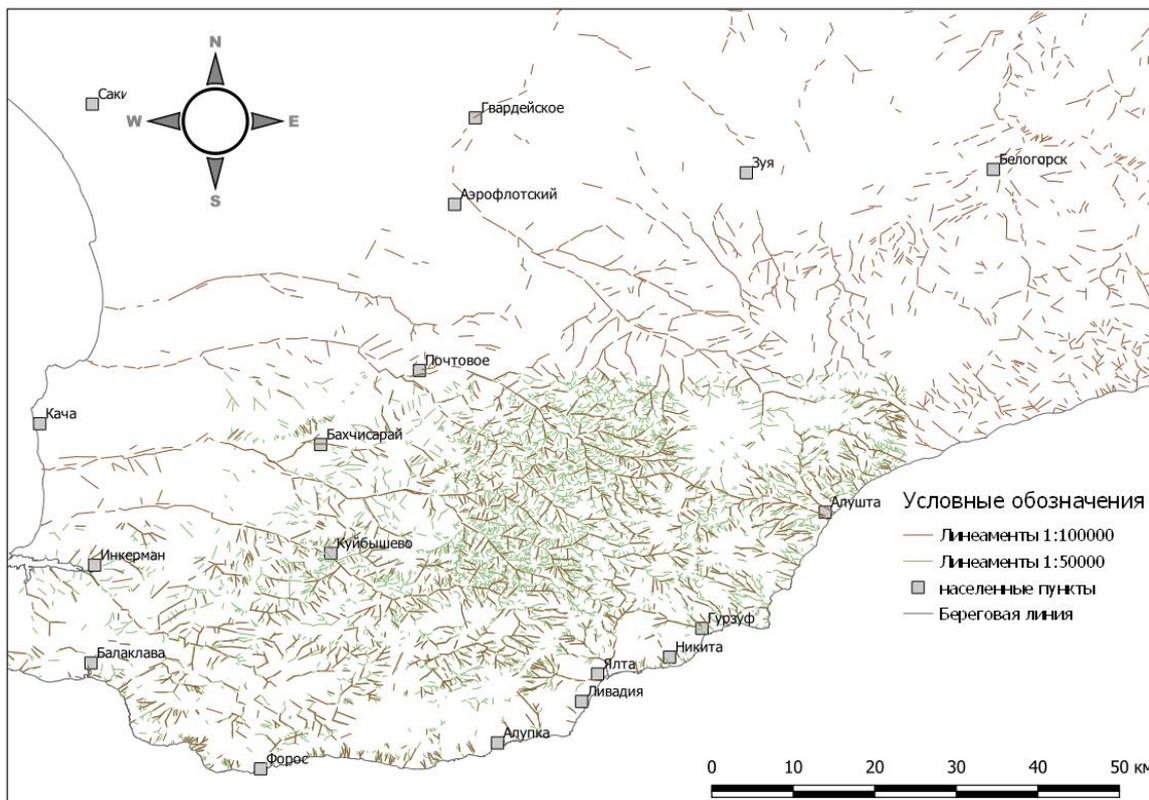
Проницаемость трещиноватых коллекторов много выше, чем пористых – это давно известный факт [1 и др.]. Трещиноватость в коллекторах оценивается макро- и микроскопически при непосредственном наблюдении обнажений и образцов (шлифов) горных пород. В то же время, есть способы дистанционно оценивать на качественном уровне степень макротрещиноватости пород. Для этого используется один из важнейших параметров геологической среды – ее фрактальность [2, 3], проявляющаяся, в частности, в повторении структурного рисунка зон трещиноватости пород при разработке их линейными эрозионными процессами.

Линеаментный анализ – относительно простой и недорогой метод изучения верхних горизонтов Земной коры [4]. Линеаменты эрозионной сети, в частности, напрямую зависят от степени раздробленности (блоковой делимости) верхних горизонтов литосферы. Разные масштабные уровни при этом отражают разную, чаще всего – иерархически построенную делимость для разных глубинных уровней. Обработка полей выделенных линеаментов разного масштаба позволяет получить информацию, касающуюся закономерностей пространственного распределения линейных структур, в частности – определение удельной плотности выбранных линеаментов на единицу площади. Это позволяет выявить участки земной коры, имеющие значимое отличие в характере блоковой делимости и оконтурить наиболее проницаемые участки. Статистический линеаментный анализ был проведен с помощью программного обеспечения, выполненного на базе геоинформационной системы QGIS [5].

Геологическое строение Крымского полуострова хорошо известно. В его строении выделяются три структурных этажа [6, 7, 8 и др.]: складчатый, флишевый триасово-раннеюрский, являющийся региональным водоупором; моноклиальный, терригенно-карбонатный среднеюрско-миоценовый, где находится большинство коллекторов подземных вод и субгоризонтально залегающий плиоцен-четвертичный, преимущественно представленный терригенными суглинками и супесями зоны аэрации. В процессе работы в рамках НИР «Новейшая геодинамика и ее влияние на фильтрационные свойства геологической среды» была поставлена задача выявления зон повышенной трещиноватости в пределах развития коллекторских комплексов Юго-западного Крыма.

Автором [9] был проведен линеаментный анализ эрозионной сети западной части Горного Крыма (и прилегающей к нему территории Степного Крыма) в масштабе 1:100 000. Исходными данными для построения линеаментов являлись топографические карты – листы L-36-105, L-36-106, L-36-116, L-36-117, L-36-118, L-36-127, L-36-128, L-36-129. Некоторые участки анализировались в

масштабе 1:50 000, но линеаментное поле данного масштабного уровня принципиально не отличается от упомянутого выше (рис. 1).



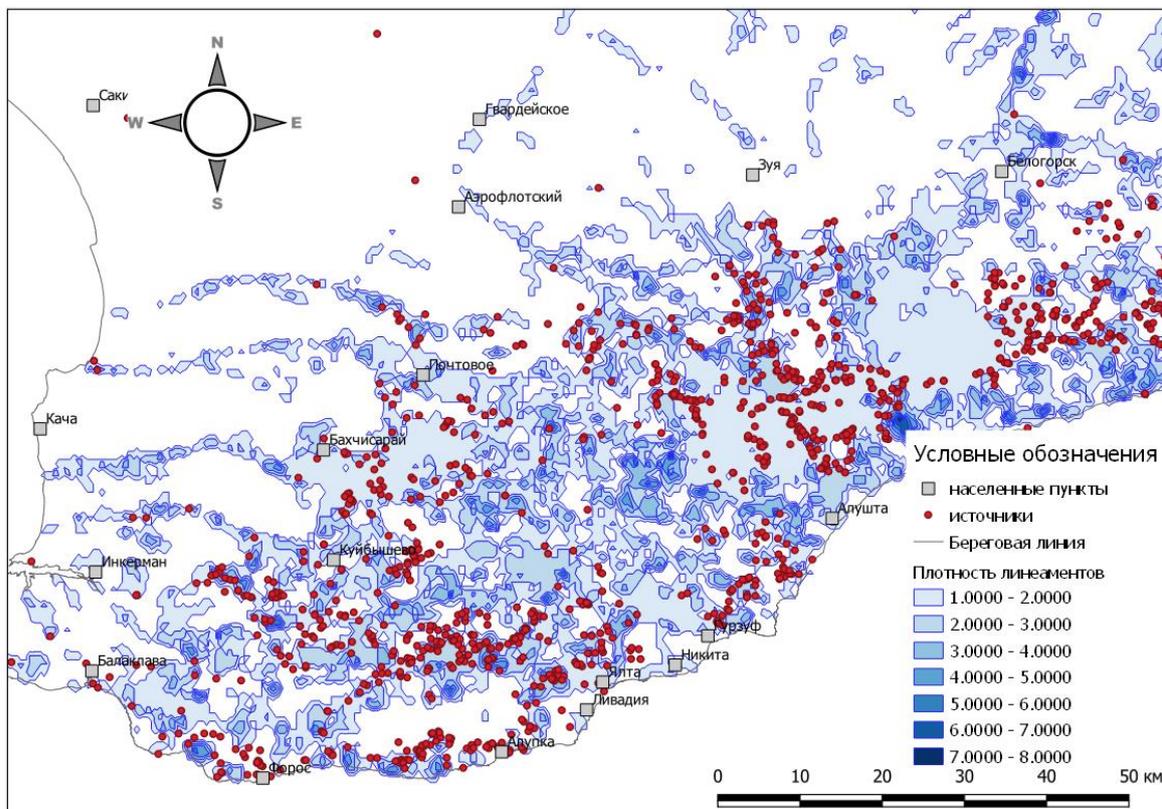
**Рисунок 4.** Линеаменты разных масштабов

В дальнейшем была построена карта плотностей линеаментов. Их количество было посчитано методом скользящего окна размером 1x1 км по гексагональной сетке с шагом 1 км. Из-за значительного перекрытия областей скользящего окна можно не опасаться пропажи каких-либо данных. Подсчитывались линеаменты, пересекающие данное окно, их количество присваивалось точке с координатами центра окна. В дальнейшем по точечному покрытию строилась карта распределения плотностей линеаментов (кол-во на км<sup>2</sup>).

По такой же схеме было посчитано распределение источников подземных вод, полученных с портала открытых геоданных OpenStreetMap [10] – наиболее полного на сегодняшний день перечня источников подземных вод, в т.ч. – сезонных и пересыхающих.

Корреляция плотностей линеаментов и положения выходов подземных вод значительна, коэффициент корреляции составляет более 0.7, что, впрочем, абсолютно логично. С линеаментным полем масштаба 1:50 000 корреляция примерно такая же. А вот линеаментное поле масштаба 1:500 000 столь однозначной корреляции не показывает, коэффициент составляет менее 0.5, что

связано с иными глубинными уровнями или масштабами блоковой делимости литосферы.



**Рисунок 5.** Сопоставление источников подземных вод и плотностей линеаментов 1:100 000

В дальнейшем можно рекомендовать для поиска источников подземных вод предварительное составление линеаментных схем масштаба 1:100 000 и более крупного.

### Литература

1. Белоновская Л.Г. Трещиноватость горных пород и разработанные во ВНИГРИ основы поисков трещинных коллекторов нефти и газа // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2006. - Т.1. - <http://www.ngtp.ru/rub/10/04.pdf>.
2. Захаров В.С. Самоподобие структур и процессов в литосфере по результатам фрактального и динамического анализа: специальность 25.00.03 "Геотектоника и геодинамика": автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Захаров Владимир Сергеевич. – Москва, 2014. – 35 с.
3. Захаров, В. С., Симонов, Д. А., Гильманова, Г. З., Диденко, А. Н. Фрактальная геометрия речной сети и неотектоника южного Сихотэ-Алиня. Тихоокеанская геология 39, 6 (2020), 26–42.
4. Шереметьева, Е. В., Богословский, В. А., Кочев, Д. З., Полетаев, А. И., Спиридонов, А. В. Линеаментный анализ как наиболее экологический и инвестиционно привлекательный способ оценки инженерно-геологических условий территорий проектируемого строительства. // Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты) Материалы годичной сессии Научного

- совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (21-22 марта 2013 г.) (2013), Сергеевские чтения. Выпуск 15, Российский университет Дружбы народов Москва, с. 204–208.
5. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
  6. Муратов М.В. Краткий очерк геологического строения Крымского полуострова. М.: ГОНТИ, 1960. 208 с.
  7. Муратов М.В. Руководство по учебной геологической практике в Крыму. Том II. Геология Крымского полуострова. М.: "Недра", 1973. 192 с.
  8. Фролова, Н. С., Спиридонов, А. В., Gual-Pérez, J., Перепечина, О. В. Подводно-оползневая складчатость в таврической серии (Горный Крым). // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, 6 (2014), 82–85.
  9. Спиридонов, А. В. Зоны вероятных очагов землетрясений Горного Крыма. // Материалы всероссийской научной конференции Геотектоника и геодинамика сейсмоактивных районов, посвященной 75-летию со дня рождения Е.А. Рогожина (1947–2021) и 115-летию со дня рождения В.В. Белоусова (1907–1990) (Москва, 2022), ред. А. О. Агибалов, Москва, с. 103–107.
  10. Портал открытых геоданных OpenStreetMap (<http://openstreetmap.org>)

УДК 556.3

## **ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ НА РЕСУРСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Филимонова Е.А., Морозов Д.О., Гриневский С.О., Поздняков С.П.**  
**Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**  
**(г. Москва, РФ)**  
*ea.filimonova@yandex.ru*

***Аннотация.** Анализ ряда метеоданных по метеостанции г. Смоленска за 50-летний период показывает тренд роста среднегодовых температур воздуха, что обуславливает актуальность исследования трансформации балансовой структуры водоотбора под влиянием изменения климата. Прогноз климатических изменений выполнен по трем контрастным глобальным климатическим моделям (EC EARTH, HadGem2-ES и MPI-ESM-MR) из ансамбля CMIP5 для сценария RCP8.5. Все модели прогнозируют рост среднегодовой температуры на территории Смоленской области на 2,8-5,7 °С, изменение осадков носит разнонаправленный характер. Изменение инфильтрационного питания несет более сложный характер, в целом прогнозируется уменьшение величины инфильтрационного питания, за исключением некоторых ландшафтов. Увеличение величины современного водоотбора будет обеспечиваться на 52% привлекаемыми ресурсами и на 48% естественными ресурсами, в том числе на 9% за счет сокращения испарения. Оценка изменения источников формирования запасов подземных вод при современной величине водоотборе показала для моделей EC EARTH и MPI-ESM-MR рост суммарной разгрузки подземных вод в реки, который связан с уменьшением суммарной эвапотранспирационной разгрузки. Модель HadGem2-ES прогнозирует двукратное увеличение привлекаемых ресурсов, приводящее к полной инверсии разгрузки для четырех водосборных бассейнов.*

***Ключевые слова:** водные ресурсы, климатические модели, балансовая структура, инфильтрация, ущерб речному стоку.*

## CLIMATE IMPACT ON GROUNDWATER RESOURCES IN SMOLENSK REGION

Filimonova E.A., Morozov D.O., Grinevskiy S.O., Pozdniakov S.P.  
*Lomonosov Moscow State University (Moscow, RF)*

**Annotation.** Analysis of a set of meteorological data from Smolensk weather station for a 50-year period shows an increasing trend in average annual air temperatures, which makes it relevant to study the transformation of the water budget withdrawal under climate change. Climate change prediction was made using three contrasting General Circulation Models (EC EARTH, HadGem2-ES, and MPI-ESM-MR) from the CMIP5 family, driven by scenario RCP8.5. All models predict a rise in the average annual temperature by 2.8-5.7 °C in Smolensk Region, the values of precipitation change from decreasing to an increase. Changes in potential recharge are more complex, in general, all climate models predicted a reduce in potential recharge (except some landscapes). Increasing the value of current water withdrawal will be supplied by 52% by induced streamflow infiltration and 48% by baseflow increasing, including a 9% decrease in evapotranspiration. The assessment of changes in the water supplies for the current value of water withdrawal showed for the EC EARTH and MPI-ESM-MR models baseflow increasing, which is associated with a decrease in the total evapotranspiration discharge. The HadGem2-ES model predicts a two-fold increase in river bank filtration, leading to a complete interception of streamflow for four watersheds.

**Keywords:** water resources, General Circulation Models, water budget, recharge, stream depletion.

В XXI веке остро стоит проблема глобальных климатических изменений. Рост среднегодовых температур воздуха, изменение количества осадков сказываются на формировании водных ресурсов в целом и подземных вод в частности. Объектом исследования является Смоленская область, расположенная в верхнем течении р. Днепра. Существующий водоотбор (133,1 тыс.м<sup>3</sup>/сут) осуществляется из средне-верхнефаменского водоносного комплекса, перспективная потребность предполагает увеличение водоотбора на 28% и составляет 170,6 тыс.м<sup>3</sup>/сут. Актуальность исследования определяется необходимостью учета влияния климатических изменений на балансовую структуру водоотбора, анализ ее трансформации и оценку возможности водоотбора в перспективных величинах.

Оценка влияния климата на ресурсы подземных вод включает в себя этап геогидрологического и этап гидродинамического моделирования. Геогидрологическая модель включает два последовательных блока: первый – модель трансформации осадков на поверхности земли, второй – модель влагопереноса в зоне аэрации. В первом расчетном блоке моделируются процессы выпадения осадков, образования и таяния снежного покрова, задержания осадков растительностью и их испарения с ее поверхности и с поверхности снега, образования склонового стока, впитывания влаги в почву с учетом ее сезонного промерзания, для моделирования используется программа, разработанная на кафедре гидрогеологии МГУ SurfBal (проф. С.П.Поздняков) [1]. Второй расчетный блок численно реализуется широко известном программном коде HYDRUS-1D [2] и представляет модель одномерного

вертикального влагопереноса от поверхности земли до нижней границы, расположенной ниже глубины залегания грунтовых вод, с учетом испарения из почвы и транспирации влаги корнями растений.

Входными данными, формирующими внешние граничные условия тепло-влагообмена с атмосферой, для модели трансформации осадков на поверхности суши являются ряды суточных данных полученных на метеостанции Смоленск с 1969 по 2018 год (50 лет). Они включают суточные ряды осадков, средних температур воздуха, максимальных и минимальных температур воздуха, влажности воздуха и средней скорости ветра, эти данные были взяты из открытого интернет источника <https://www.meteo.ru>. Для калибровки модели использовались данные о суточной высоте снежного покрова и глубине сезонного промерзания почвы. Ландшафтное районирование территории для расчета водного баланса на поверхности земли проведено по типу растительности (лес, поле) и строению зоны аэрации (пески, супеси, суглинки). воднофизические свойства почвенных слоев и материнских пород зоны аэрации приняты по работе [3].

Для прогноза изменения ресурсов подземных вод во второй половине XXI века использовался стохастический генератор погоды LARSWG 6.0 [4], позволяющий перейти от глобальных климатических моделей из ансамбля CMIP5 к локальной территории на основе заданных статистических характеристик многолетних наблюдений по конкретной метеостанции. Климатический прогноз выполнен для самого экстремального сценария RCP8.5 [5]. Изменение климата исследуется по трем моделям, выбранным в результате анализа предыдущих работ на данную тематику: «сухая» модель HadGem2-ES традиционно показывает максимальное уменьшение инфильтрационного питания; «влажная» модель MPI-ESM-MR прогнозирует его максимальный рост, а «средняя» модель EC EARTH показывает в целом близкие к текущим величины инфильтрационного питания [6].

Прогноз изменения климата по всем моделям показал рост среднегодовой температуры, так модель EC EARTH предсказывает увеличение на 3,42 °С, модель HadGem2-ES на 5,66 °С, а модель MPI-ESM-MR на 2,8 °С (табл. 1). При этом изменение величины осадков несет разнонаправленный характер, так две модели EC EARTH и MPI-ESM-MR предсказывают рост осадков на 56 и 42 мм/год соответственно, а модель HadGem2-ES уменьшение на 73 мм/год.

Изменение же инфильтрационного питания несет еще более сложный характер. Модель HadGem2-ES показывает общее уменьшение инфильтрационного питания (в среднем на 90,5 мм/год), при этом минимальное уменьшение питания характерно для ландшафта «поле-суглинки» - 15,8 мм/год, а максимальное для ландшафта «лес-пески» - до 153 мм/год. Модель MPI-ESM-MR прогнозирует как уменьшение, так и рост у величины инфильтрационного

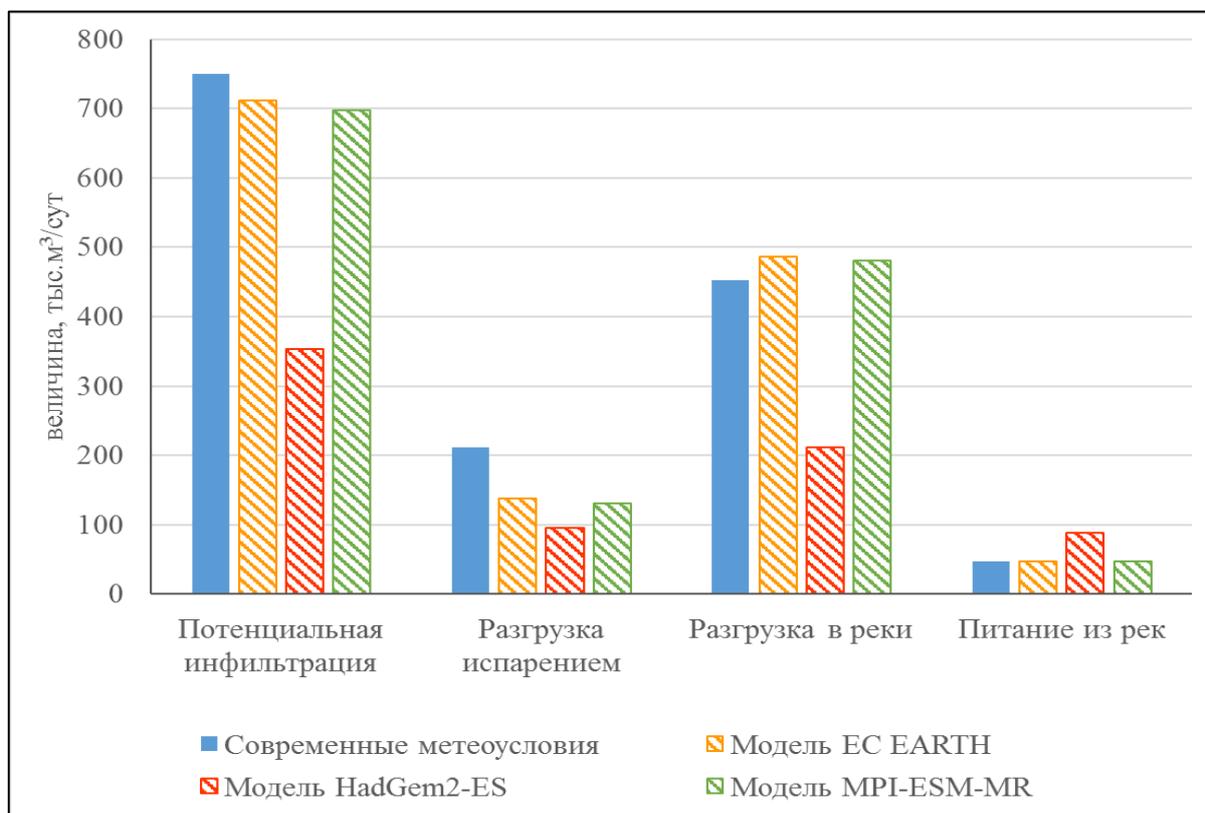
питания так, например, для ландшафта «поле суглинки» виден рост на 2,6 мм/год, а для ландшафта «лес-пески» - на 5,2 мм/год.

**Таблица 1.**

**Результаты прогнозного моделирования при экстремальном сценарии эмиссии парниковых газов RCP8.5**

№	Модель	Страна разработки модели	Прогноз для метеостанции Смоленск на 2061-2081 гг.	
			Годовая сумма осадков, мм	Среднегодовая температура воздуха, °С
1	HadGem2-ES	Великобритания	653	11,03
2	EC EARTH	Европа	782	8,79
3	MPI-ESM-MR	Германия	768	8,17
4	Исходный метеоярд 1969-2018		726	5,37

Для модели EC EARTH наблюдается общее снижение величины инфильтрационного питания в среднем на 5.25 мм /год. Полученные результаты послужили для создания карт потенциального инфильтрационного питания, которые были импортированы в откалиброванную гидрогеодинамическую модель для дальнейших прогнозных расчетов.



**Рисунок 1.** Источники формирования запасов подземных вод при изменении климата

Геофильтрационные расчеты выполнены в вычислительном комплексе Aquaveo GMS v.10.3.2 с расчетным модулем Modflow, позволяющим реализовать зависимость величин инфильтрационного питания и эвапотранспирационной разгрузки от положения уровня грунтовых вод. В случае сохранения современных метеоусловий увеличение водоотбора до перспективных величин будет обеспечиваться на 9% за счет уменьшения испарения, на 39% за счет сокращения разгрузки подземных вод в реки и на 52% за счет увеличения питания из рек.

Оценка изменения источников формирования запасов подземных вод при текущем водоотборе проводилась для трех выбранных климатических моделей. ЕС EARTH и MPI-ESM-MR показывают рост суммарной разгрузки подземных вод в реки, который связан с уменьшением суммарной эвапотранспирационной разгрузки (рис. 1). При этом суммарные ресурсы близки к существующим на данный момент условиям. Модель HadGem2-ES показывает значительное, даже можно сказать катастрофическое уменьшение инфильтрационного питания, разгрузки подземных вод в реки, а также полную инверсию разгрузки для четырех водосборных бассейнов. Самый экстремальный сценарий RCP 8.5 для двух прогнозных моделей дает достаточно оптимистичный прогноз относительно ресурсов подземных вод, однако, необходимо учитывать возможность развития событий согласно модели HadGem2-ES. В этом случае климатические прогнозы являются важным инструментом для рационализации недропользования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № № 21-47-00008).

#### Литература

1. Гриневский С.О., Поздняков С.П. Принципы региональной оценки инфильтрационного питания подземных вод на основе геогидрологических моделей // Вод. ресурсы. 2010. Т. 37, № 5. С. 543-557.
2. Šimůnek J., Šejna M., Saito H., Sakai M., van Genuchten M. Th. The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media. Ver. 4.08. // Prepr. Depart. of Environ. Sci. University of California Riverside. California, Riverside. 2009. 296 p.
3. Гриневский С.О., Иванова Я.В., Сафонов А.О. Оценка естественных ресурсов подземных вод на основе геогидрологического моделирования инфильтрационного питания // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, издательство Рос. гос. геологоразведоч. ун-т (М.), № 5, с. 45-52.
4. Semenov, M. A., & Stratonovitch, P. Use of Multi-Model Ensembles from Global Climate Models for Assessment of Climate Change Impacts. Climate Research, 2010 vol 41, 1-14.
5. Riahi, K., Rao, S., Krey, V. et al. Climatic Change. 2011 109: 33.

- б. Поздняков С.П., Гриневский С.О., Дедюлина Е.А., Самарцев В.Н. Модельный анализ наблюдаемых и прогнозных климатических изменений инфильтрационного питания подземных вод в бассейне малой реки// Вестник МГУ, сер. 4. Геология. 2019. №3. С.78-86.

УДК 556.3

**СТАБИЛЬНЫЕ ИЗОТОПЫ КИСЛОРОДА И ВОДОРОДА В  
ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ИССЫК-КУЛЬСКОГО  
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО БАСЕЙНА, ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКИЙ  
СКЛАДЧАТЫЙ ПОЯС**

**Харитоновна Н.А.<sup>1</sup>, Барановская Е.И.<sup>1</sup>, Соколовская М.<sup>1</sup>, Лаврушин В.Ю.<sup>2</sup>,  
Челноков Г.А.<sup>2</sup>, Брагин И.В.<sup>3</sup>, Филимонова Е.А.<sup>1</sup>**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова<sup>1</sup>  
(г. Москва, РФ), Геологический институт РАН,<sup>2</sup> (г. Москва, РФ)  
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН<sup>3</sup> (г. Москва, РФ)  
tchenat@mail.ru*

*Аннотация.* В работе представлены результаты исследования содержаний и закономерностей распределения стабильных изотопов кислорода и водорода в природных водах Центрально-Азиатского складчатого пояса, район Иссык-кульского гидрогеологического бассейна. Показано, что все воды региона имеют исходно метеорное происхождение с отчетливо выраженным высотным эффектом, а фракционирование изотопов обусловлено вторичными наложенными процессами.

*Ключевые слова:* Тянь-Шань, природные воды, стабильные изотопы, условия формирования.

**STABLE OXYGEN AND HYDROGEN ISOTOPES IN NATURAL WATERS OF THE  
ISSYK-KUL HYDROGEOLOGICAL BASIN, CENTRAL ASIAN FOLD BELT**

**Kharitonova N.A.<sup>1</sup>, Baranovskaya E.I.<sup>1</sup>, Sokolovskaya M.<sup>1</sup>, Lavrushin V.Yu.<sup>2</sup>,  
Chelnokov G.A.<sup>2</sup>, Bragin I.V.<sup>3</sup>, Filimonova E.A.<sup>1</sup>**

*Moscow State University named after M.V. Lomonosov<sup>1</sup>(Moscow, RF),  
Geological Institute RAS<sup>2</sup>(Moscow, RF)  
Far East Geological Institute FEB RAS<sup>3</sup>(Moscow, RF)*

*Annotation.* The paper presents the results of a study of the content and distribution of stable oxygen and hydrogen isotopes in natural waters of the Central Asian folded belt, the area of the Issyk-Kul hydrogeological basin. It is shown that all waters of the region have an initial meteoric origin with a distinct altitude effect, and the fractionation of isotopes is due to secondary processes.

*Keywords:* Tien-Shan, natural waters, stable isotopes, water recharge.

Сложность горного рельефа Тянь-Шаня (глубокая расчлененность, разная экспозиция горных склонов по отношению к солнцу и воздушным течениям) обуславливает особые гидрологические и геолого-гидрогеологические условия формирования природных вод. Расположенные на больших высотах осевые части хребтов конденсируют значительные массы атмосферной влаги в виде

ледников, которые дают начало рекам. На территории горно-складчатого сооружения Тянь-Шаня существует разветвленная речная сеть, а подземные и поверхностные воды тесно взаимодействуют. Основным источником водных ресурсов региона являются осадки, выпадающие на водосборной площади. На количество подземных вод значительно влияет лесистость горных склонов, состояние ледниковых и лесных экосистем. Ледники Тянь-Шаня для многих рек служат основным источником питания.

Основной целью данной работы являлось изучение содержания и распределения стабильных изотопов кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) и водорода ( $\delta\text{D}$ ) в природных водах Иссык-Кульского гидрогеологического бассейна, и выявление условий их питания.

В основу работы были положены гидрохимические и изотопные данные, полученные во время полевых работ 2019 и 2022 годов. Были изучены поверхностные водотоки (10 проб), озеро Иссык-Куль (2 пробы), подземные воды (30 проб). Точки опробования приведены на рисунке 1.

Нестабильные параметры (pH, Eh,  $\text{O}_{2\text{раств.}}$ , электропроводность, минерализация, температура и содержание  $\text{HCO}_3^-$ ) измерялись в полевых условиях, непосредственно на месте отбора воды. Макрокомпонентный состав определялся методом жидкостной ионной хроматографии (HPLC-10AVp, SHIMADZU). Концентрации микрокомпонентов установлены методом ICP-MS на приборе Agilent 7700 в ДВГИ ДВО РАН. Определение стабильных изотопов проводилось там же. Для сравнительных оценок использовано соотношение  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  относительно водного стандарта SMOW.

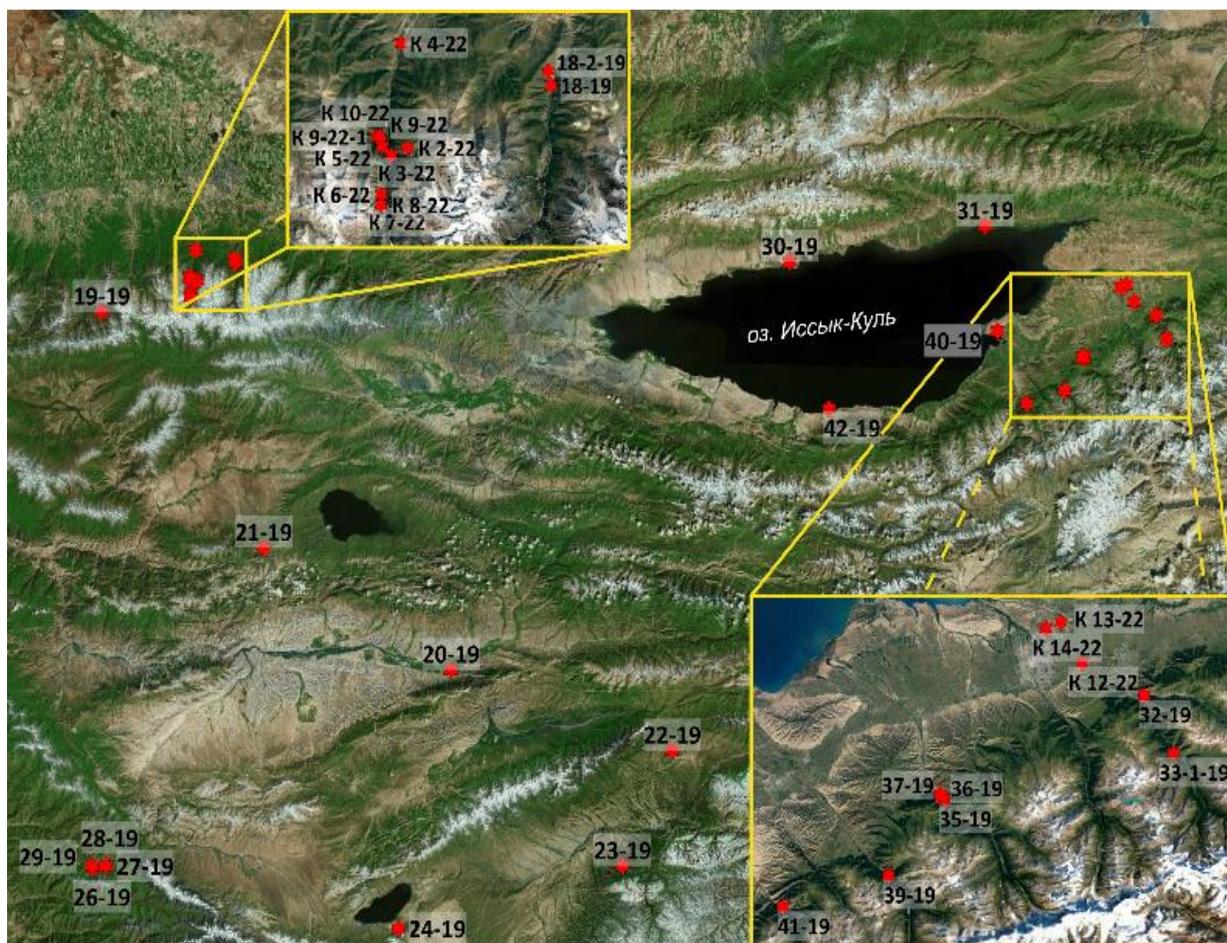


Рисунок 1. Обзорная карта района исследований с расположением точек опробования.

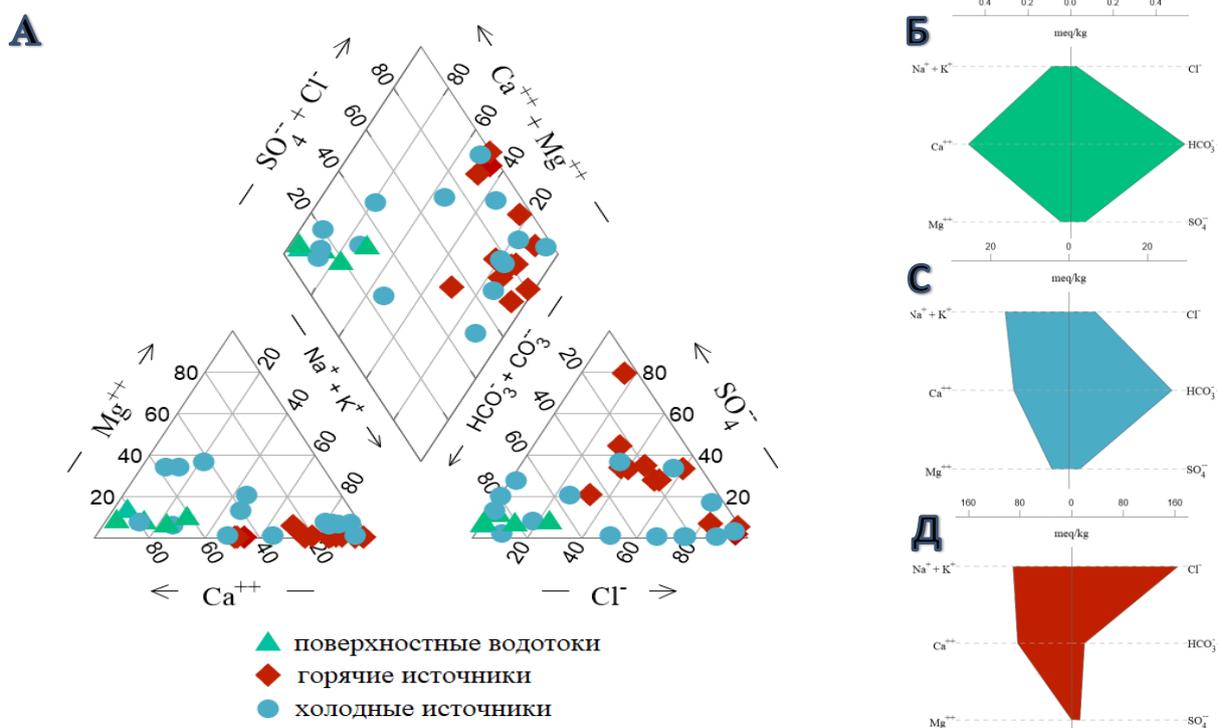
Иссык-Кульский артезианский бассейн представляет собой наложенную эпигерцинскую (мезо-кайнозойскую) межгорную депрессию, развитую в пределах Северо-Тяньшаньской каледонской складчатой системы [1]. Бассейн сложен мезо-кайнозойскими континентальными осадочными породами типа моласс мощностью до 5000 м.

По температурному режиму исследованные воды подразделяются на три типа: очень холодные (до 10°C), холодные (10-20°C) и термальные с температурой более 25 °C. К первой группе преимущественно относятся высокогорные поверхностные водотоки и родники, а ко второй и третьей – подземные воды. По показателю рН все воды умеренно-щелочные (6.7 – 9.4). Окислительно-восстановительный потенциал зависит от типа воды: поверхностные водотоки демонстрируют положительные значения Eh (100-220 mV), а многие подземные минеральные источники имеют сильно восстановительную обстановку с Eh до -260 mV (источник Джилы-Су, проба 39-19). Минерализация вод варьирует в зависимости от их типа: горные реки и родники низкоминерализованные (до 150 мг/л), в то время как минеральные источники более минерализованные, преимущественно в диапазоне значений 1-

5 г/л. Иногда как в высокотемпературных подземных водах месторождения Джеты-Огуз минерализация достигает 15 г/л.

По химическому составу высокогорные поверхностные водотоки и источники сходны и принадлежат к гидрокарбонатным кальциевым водам (Рис. 2 А, Б). Состав подземных источников варьирует (рис. 2А) и сильно зависит от места их локализации, а также температуры и типа водовмещающих толщ. В холодных подземных водах преобладают катионы кальция и натрия, а среди анионов гидрокарбонат, редко хлорид. На рисунке 2С представлен гидрохимический состав источника Арашан. Среди термальных источников, особенно высокоминерализованных, преобладает катион натрия, далее следует кальций, среди анионов превалирует хлорид при подчиненном количестве гидрокарбоната и сульфата (рис. 2Д). Высокогорные воды характеризуются низкими содержаниями микрокомпонентов, в то время как подземные (а особенно термальные) содержат повышенные содержания лития, стронция, рубидия и цезия.

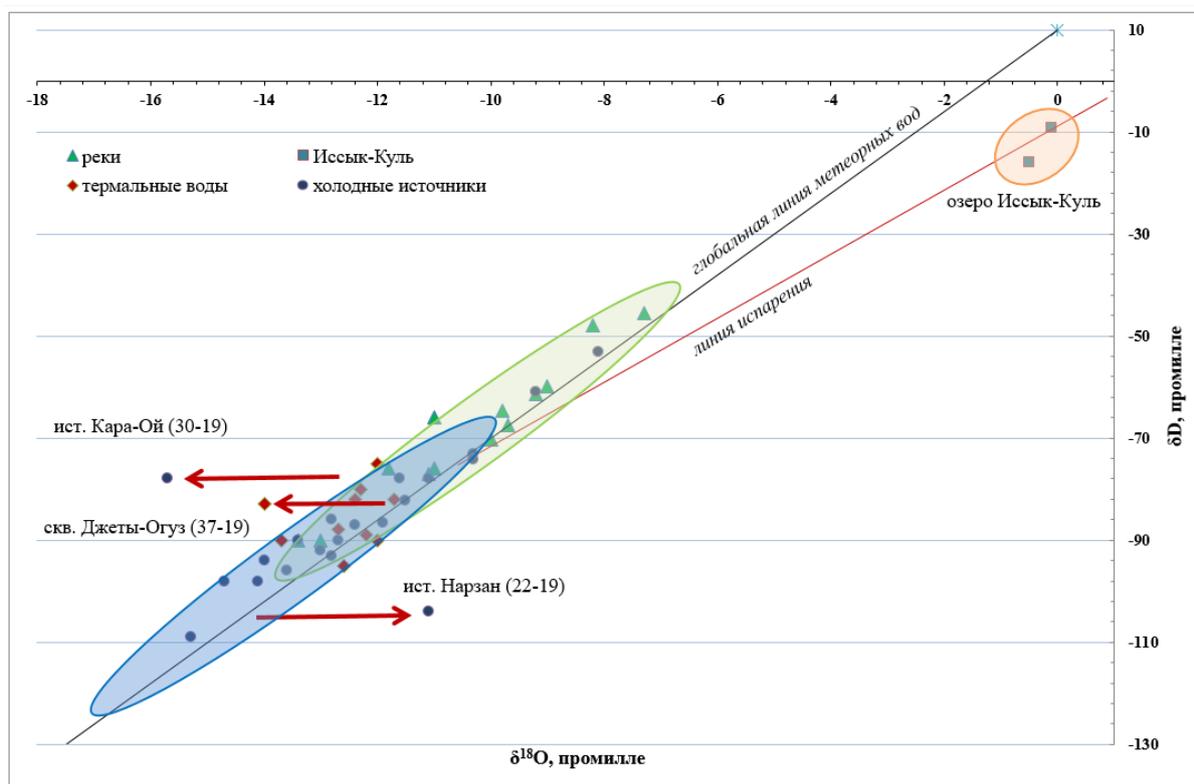
Стабильные изотопы кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) и водорода ( $\delta\text{D}$ ) демонстрируют значительный разброс значений: наиболее низкие значения (от -15,7 до -11,1 ‰ для  $\delta^{18}\text{O}$  и -109 до -78 ‰ для  $\delta\text{D}$ ) имеют прохладные подземные воды. Высокогорные реки и источники содержат более тяжелые изотопы.



**Рисунок 2.** Химический состав исследованных вод: А – диаграмма Пайпера для всех опробованных водопунктов; Б – Стифф-диаграмма высокогорных рек, С – Стифф-диаграмма холодных подземных вод, Д – Стифф – диаграмма для термальных вод.

Наиболее высокие значения  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$  (-0,5 и -16 ‰, соответственно) выявлены в водах озера Иссык-Куль. Одним из диагностических признаков происхождения природных вод является соотношение  $\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$ , которое для метеорных вод описывается уравнением Г. Крейга [2]:  $\delta^2\text{H}=8\delta^{18}\text{O}+10$  (рис. 3). В целом, все изученные воды, за исключением нескольких точек, ложатся близко к линии глобальных метеорных вод, что подтверждает их атмосферный генезис. Смещение холодных источников в сторону отрицательных значений отражает большую высоту зоны их питания. Кислородные сдвиги вправо и влево указывают на неравновесное изотопное фракционирование в системе вода–порода-газ. Сдвиг вправо обычно характерен для изотопного обмена между кислородсодержащими фракциями водовмещающих толщ и пород, а сдвиг влево для обмена кислородом между углекислым газом и водой. Воды озера Иссык-Куль лежат на линии испарения, что характерно для озерных вод данной климатической зоны.

Для рек наблюдается отчетливая высотная зависимость между содержанием в воде  $\delta\text{D}$  и точкой опробования. Для холодных подземных вод данная зависимость выражена слабее, а для термальных – отсутствует.



**Рисунок 3.** Распределение стабильных изотопов водорода и кислорода в природных водах Иссык-Кульского гидрогеологического бассейна.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что все изученные воды по изотопному составу располагаются близко к ГЛМВ и имеют исходно

атмосферное происхождение. При этом область питания холодных подземных источников лежит гипсометрически выше, чем область питания термальных вод и обследованных рек.

### **Благодарности**

Авторы благодарят Лямину Л.А. за помощь в отборе проб, Зарубину Н.В., Еловского Е.И. и Веливецкую Т.А. за тщательно выполненные анализы.

### **Финансирование**

Исследование выполнено при поддержке проекта РНФ 23-27-00119 «Генезис и условия циркуляции термальных вод кристаллических массивов горноскладчатых областей».

### **Литература**

1. Мандычев А.Н. Особенности гидрогеодинамики глубоких горизонтов артезианских бассейнов областей неотектонической активизации (на примере Восточно-Чуйского и Иссык-Кульского артезианских бассейнов). Автореферат диссертации. Бишкек, 1994.
2. Craig H. Standard for reporting concentration of deuterium and oxygen – 18 in natural waters // Science. – 1961. – V. 133, № 3466. – P. 1833-1834.

УДК 551.513.2;550.42(575.3)

## **ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ИОНЫ В АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЯХ ГОРОДА ДУШАНБЕ**

**Шарипов С.Р., Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А.**

*Физико-технический институт имени С.У. Умарова Национальной  
академии наук Таджикистана (г. Душанбе, РТ)*

*safarali.r.sharipov@mail.ru*

***Аннотация.** Исследованы водорастворимые ионы в пробах аэрозолей, собранных с 2015 по 2016 год в г. Душанбе, типичном полуаридном городе, столице Таджикистана. Концентрация водорастворимых ионов (WSI) была выше в холодный период (1,5 мкг/м<sup>3</sup>) и ниже в теплый период (0,86 мкг/м<sup>3</sup>). NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и Ca<sub>2</sub><sup>+</sup> были преимуществами (WSI). Концентрация NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в последние годы снижается, а уровень SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> увеличивается. На концентрацию (WSI) влияли метеорологические факторы. Анализ обратной траектории и модели функции вклада потенциального источника показал, что Душанбе расположен в глобальном пылевом поясе, который простирается от Сахары над аравийскими пустынями до пустынь Такла-Макан и Гоби. Это исследование улучшит наше понимание качества воздуха и источников загрязнения в промышленных условиях.*

***Ключевые слова:** общее количество взвешенных частиц (ОВЧ); водорастворимые ионы (WSI); механизм формирования; идентификация источника.*

## **WATER-SOLUBLE IONS IN ATMOSPHERIC AEROSOLS IN DUSHANBE**

**Sharipov S.R., Abdullaev S.F., Maslov V.A.**

*S.U. Umarov Physical-Technical Institute National  
Academy of Sciences of Tajikistan (Dushanbe, RT)*

**Annotation.** Water-soluble ions were studied in aerosol samples collected from 2015 to 2016 in Dushanbe, a typical semi-arid city, the capital of Tajikistan. The concentration of water-soluble ions ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{Ca}_2^+$  were benefits WSI) was higher during the cold period ( $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and lower during the warm period ( $0.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). The concentration of  $\text{NO}_3^-$  has been declining in recent years, while the level of  $\text{SO}_4^{2-}$  has been increasing. The concentration (WSI) was influenced by meteorological factors. An analysis of the reverse trajectory and the potential source contribution function model showed that Dushanbe is located in the global dust belt, which extends from the Sahara over the Arabian deserts to the Takla - Makan and Gobi deserts. This study will improve our understanding of air quality and pollution sources in industrial environments.

**Keywords:** total suspended particles (TSP), water soluble ions (WSI), formation mechanism, source identification.

## Введение

В связи с быстрыми процессами урбанизации и развитием индустриализации аэрозоли привлекли большое внимание со стороны государств, общественности и ученых. Аэрозоли, особенно аэрозоли антропогенного происхождения, оказывают неблагоприятное воздействие на изменение климата и здоровье человека [1, 2, 3]. Водорастворимые ионы (WSI) являются важными компонентами аэрозолей, которые включают катионы сульфатов ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), нитратов ( $\text{NO}_3^-$ ), аммония ( $\text{NH}_4^+$ ) и щелочных металлов. Они могут давать 60–70 % общего количества взвешенных частиц (ОВЧ) [4]. Они не только играют существенную роль в изменении радиационного баланса Земли, но и способствуют образованию кислотных дождей [5]. Кроме того,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NH}_4^+$  являются вторичными ионами WSI, которые могут повлиять на кислотность ВЧ и ускорить образование опасных твердых частиц [6]. В последние годы во многих странах проведен ряд исследований химических и физических свойств аэрозолей [7]. Более того, Китай начал их изучение с начала 1990-х годов [8]. За последние несколько лет качество воздуха в Китае было намного ниже, чем в других странах, что остается в центре внимания во многих городах Китая, таких как Сиань, Шанхай, Далянь, Пекин и других развитых городах, и были проведены исследования охарактеризовать WSI и их вклад в ОВЧ. Сокращение ледников и высыхание Аральского моря являются четкими и недвусмысленными признаками серьезных и угрожающих последствий деятельности человека к изменению климата в Центральной Азии (Казахстан, Туркменистан, Узбекистан, Кыргызстан, Таджикистан; см. рис. 1, а). Аэрозольное загрязнение и минеральная пыль являются важными компонентами природно-атмосферной системы в этом регионе, относящемся к пылевому поясу северного полушария, простирающемуся от Сахары в Северной Африке до пустынь Такла-Макан и Гоби в Китае. Дальний перенос пустынной пыли из Сахары и пустынь Ближнего Востока и дополнительные локальные и региональные выбросы пыли и аэрозольного загрязнения (антропогенная дымка,

дым горения биомассы) приводят к сложной аэрозольной смеси и сложной вертикальной слоистости аэрозолей в планетарном пограничном слое и свободная тропосфера над, например, Душанбе в Таджикистане [9].

Душанбе, Таджикистан находится в центре этого глобального пыльного пояса и содержит несколько крупных источников пыли (рис. 1, б).

Поэтому страны Центральной Азии (особенно Таджикистан) часто страдают от атмосферной минеральной пыли, опасной для здоровья органов дыхания. Даже бактерии, грибки и вирусы могут переноситься пылью на большие расстояния. Пыль также переносится через сильно загрязненную Центральную Азию дальше на восток и по пути подвергается более сильному антропогенному воздействию по сравнению с переносом пыли Сахары на запад [10-11].

Таким образом, профилирование аэрозолей в Центральной Азии крайне необходимо для лучшего понимания регионального и глобального переноса и осаждения минеральной пыли и его влияния на баланс радиации, развитие облачности и осадков, а также на здоровье человека.



**Рисунок 1. а)** Пять стран, определяющих Центральную Азию (в обведенных жирным шрифтом границах). Выделена лидарная станция (красная звезда) в Душанбе, Таджикистан. [http://www.shadedrelief.com/politic/Political\\_Map\\_Pat.pdf](http://www.shadedrelief.com/politic/Political_Map_Pat.pdf), последний доступ: 15 октября 2019 г. © Том Паттерсон, адаптировано).

**б)** Географическая карта с пустынными районами (черный текст), пыльным поясом (ярко-зеленая пунктирная линия), выделено место измерений в Душанбе, Таджикистан (красный текст) (<http://naturalearth.springercarto.com>, адаптировано).

**Материалы и методы.** В настоящей работе представлены результаты измерений водорастворимые ионы (WSI), проводившихся непрерывно лабораторией физики атмосферы ФТИ им. С.У. Умарова НАНТ совместно с

Институтом тропосферных исследований Германии им. Лейбница (Лейпциг), с марта 2014 по сентябрь 2016 г.

Изучение водорастворимые ионы (WSI) атмосферного аэрозоля проводилось на станции атмосферного мониторинга лаборатории физики атмосферы ФТИ НАНТ, (38°33'34''с.ш., 68°51'22''в.д.). Станция расположена в восточной части г. Душанбе на высоте 864 м над уровнем моря, на расстоянии 10 км от центра города, по соседству с селением, пользующимся печным отоплением. Сбор атмосферного аэрозоля с частицами размеров до 10 мкм (PM10) на поверхность кварцевых фильтров типа quartz fiber filters (МК 360, MUNKTELL) проводился высокообъемным пробоотборником DHA-80, DIGITEL в течение 72 часов (объем пробоотбора в период эксперимента CADEX составил 1520 м<sup>3</sup>). Общее количество проб атмосферного аэрозоля с частицами до 10 мкм – 181. Собранные пробы отправлялись в Германию (Лейпциг) в Институт тропосферных исследований (TROPOS). Пробы хранились в специальных контейнерах в морозильной камере до момента лабораторного анализа. водорастворимые ионы (WSI) анализировали двухстадийным ионный хроматограф **Dionex ICS-3000** [12].

### Результаты и обсуждение.

На рисунке 2 показана концентрация WSI в отопительный и неотопительный периоды в г. Душанбе. Концентрация WSI в отопительный период колебалась от 0 до 3,74 мкг/м<sup>3</sup> при среднем значении 0,86 мкг/м<sup>3</sup>. Ранг измеренных в отопительный период концентраций ионов: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (3,74 мкг/м<sup>3</sup>) > Ca<sup>2+</sup> (2,44 мкг/м<sup>3</sup>) > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (1,822 мкг/м<sup>3</sup>) > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (0,83 мкг/м<sup>3</sup>) > Cl<sup>-</sup> (0,347 мкг/м<sup>3</sup>) > K<sup>+</sup> (0,54 мкг/м<sup>3</sup>) > Na<sup>+</sup> (0,29 мкг/м<sup>3</sup>) > Mg<sup>2+</sup> (0,11 мкг/м<sup>3</sup>), что свидетельствовало о том, что NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> и NH<sub>4</sub><sup>+</sup> были основными WSI в Душанбе, составляя 11,35% WSI.

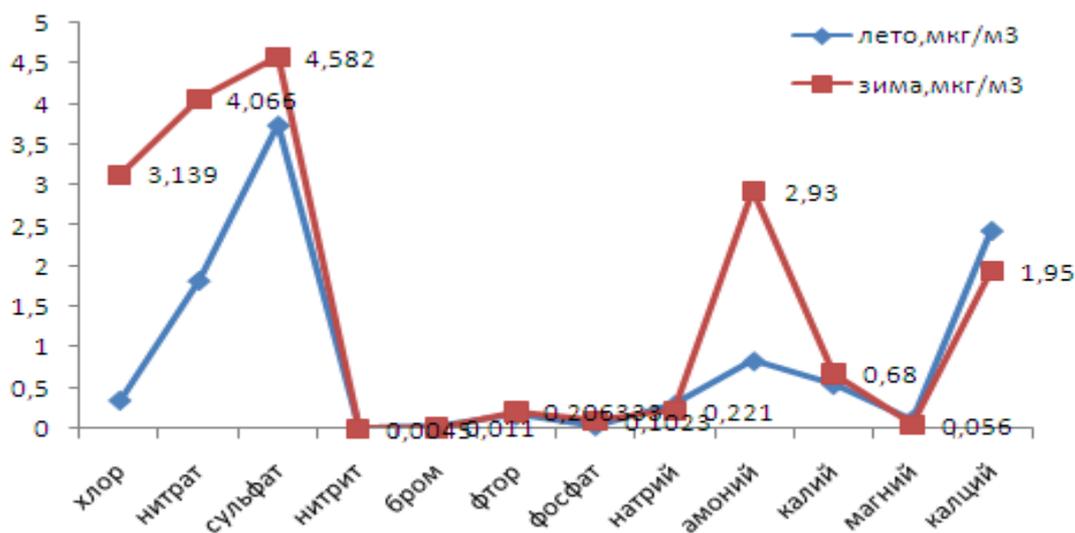


Рисунок. 2. Изменения концентрации водорастворимых ионов в атмосферном аэрозоле в зависимости от сезона.

Концентраций ионов, измеренных в неотапительный период, составил:  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $4,6 \text{ мкг/м}^3$ ) >  $\text{NO}_3^-$  ( $4,066 \text{ мкг/м}^3$ ) >  $\text{Cl}^-$  ( $3,13 \text{ мкг/м}^3$ ) >  $\text{NH}_4^+$  ( $2,93 \text{ мкг/м}^3$ ) >  $\text{Ca}^{2+}$  ( $1,5 \text{ мкг/м}^3$ ) >  $\text{K}^+$  ( $0,68 \text{ мкг/м}^3$ ) >  $\text{Na}^+$  ( $0,22 \text{ мкг/м}^3$ ) >  $\text{Mg}^{2+}$  ( $0,056 \text{ мкг/м}^3$ ). Концентрация ИВВ в отопительный период была выше, чем в неотапительный период, а основные WSI ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{NH}_4^+$ ) в неотапительный период были такими же, как и в отопительный период, с учетом 33,5% WSI. Сначала мы разделили водорастворимые ионы на две группы: катионы и анионы, а затем составили таблицу распределения в процентах в каждом сезоне. В каждой таблице (1, 2) показано, что величина концентрации проб, собранных в каждый сезон, представляет собой сколько процент от концентрации проб, собранных за все время.

На основании этих данных мы определяем, какая выборка имеет больше всего источников в какой сезон.

**Таблица 1.**

**Распределение концентрации катионов в процентах для каждого сезон**

сезоны	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$
весна %	12,94	7,03	9,89	11,23	13,74
лето %	30,89	17,48	25,87	36,21	29,93
осень %	23,70	17,48	25,55	25,28	23,20
зима %	19,54	50,94	28,77	16,06	30,52

**Таблица 2.**

**Распределение концентрации анионов в процентах для каждого сезон**

сезоны	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_2^-$	$\text{Br}^-$	$\text{F}^-$	$\text{PO}_4^{3-}$
весна %	6,97	11,30	12,21	23,59	3,16	15,18	9,89
лето %	8,20	18,58	26,88	-	32,62	24,61	18,12
осень %	14,77	23,84	22,39	7,09	35,12	27,09	18,95
зима %	63,10	34,99	26,31	45,97	25,86	24,64	44,05

**Заключение.** На основе вышеприведенных результатов можно сделать вывод, что источники большей части водорастворимых ионов атмосферного аэрозоля г. Душанбе можно наблюдать в зимний период.

**Литература**

1. Huimin Jiang, Zhongqin Li, Feiteng Wanget. al. Water-Soluble Ions in Atmospheric Aerosol Measured in a Semi-Arid and Chemical-Industrialized City, Northwest China. Atmosphere 2021, 12(4), 456
2. Khaniabadi, Y.O.; Sicard, P.; Takdastan, A.; Hopke, P.K.; Taiwo, A.M.; Khaniabadi, F.O.; De Marco, A.; Daryanoosh, M. Mortality and morbidity due to ambient air pollution in Iran. Clin. Epidemiol. Glob. Health 2019, 7, 222–227.

3. Soza, L.N.; Jordanova, P.; Nicolis, O.; Střelec, L.; Stehlík, M. Small sample robust approach to outliers and correlation of atmospheric pollution and health effects in Santiago de Chile. *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 2019, 185, 73–84.
4. Tie, X.; Wu, D.; Brasseur, G. Lung cancer mortality and exposure to atmospheric aerosol particles in Guangzhou, China. *Atmos. Environ.* 2009, 43, 2375–2377.
5. Ali-Mohamed, A.Y. Estimation of inorganic particulate matter in the atmosphere of Isa Town, Bahrain, by dry deposition. *Atmos. Environ. Part B Urban Atmos.* 1991, 25, 397–405.
6. Ji, Y.; Li, Q.; Ye, R.; Tian, K.; Tian, X. The Impact of Water-Soluble Inorganic Ions in Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>) on Litter Decomposition in Chinese Subtropical Forests. *Forests* 2020, 11, 238.
7. He, K.; Zhao, Q.; Ma, Y.; Duan, F.; Yang, F.; Shi, Z.; Chen, G. Spatial and seasonal variability of PM<sub>2.5</sub> acidity at two Chinese megacities: Insights into the formation of secondary inorganic aerosols. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 2012, 12, 1377–1395.
8. Ryou, H.G.; Heo, J.; Kim, S.-Y. Erratum to “Source apportionment of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> air pollution, and possible impacts of study characteristics in South Korea” [*Environ. Pollut.* 240 (2018) 963–972]. *Environ. Pollut.* 2018, 242, 2135.
9. Deng, X.-L.; Shi, C.-E.; Wu, B.-W.; Yang, Y.-J.; Jin, Q.; Wang, H.-L.; Zhu, S.; Yu, C. Characteristics of the water-soluble components of aerosol particles in Hefei, China. *J. Environ. Sci.* 2016, 42, 32–40.
10. Julian Hofer, Dietrich Althausen, Sabur F. Abdullaev et. al. Long-term profiling of mineral dust and pollution aerosol with multiwavelength polarization Raman lidar at the Central Asian site of Dushanbe, Tajikistan: case studies. *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 14559–14577, 2017
11. Julian Hofer, Albert Ansmann, Dietrich Althausenet. al. Long-term profiling of aerosol light extinction, particle mass, cloud condensation nuclei, and icenucleating particle concentration over Dushanbe, Tajikistan, in Central Asia. *Atmos. Chem. Phys.*, 20, 4695–4711, 2020
12. Fomba K.W., Müller K., van Pinxteren D. et al. Long-term chemical characterization of tropical and marine aerosols at the Cape Verde Atmospheric Observatory (CVAO) from 2007 to 2011. - *Atmos. Chem.* 2014, *Phys.* 14. - Pp.8883-8904.

УДК 349.6

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРАВ ЧЕЛОВЕКА НА БЛАГОПРИЯТНУЮ ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

**Эльназаров Д.Х., Алифбеков А.Н.**

*Российско-Таджикский (Славянский) университет (г. Душанбе, РТ)*

*sabkar@list.ru*

*Аннотация.* В статье рассматриваются отдельные аспекты конституционализации прав граждан на благоприятную окружающую среду. Данное субъективное право граждан анализируется с точки зрения конституционных ценностей и баланса экологических интересов и интересов экономическом развитии. Обращается внимание на внутреннюю и внешнюю противоречивости права на благоприятную окружающую среду. Обозначены некоторые актуальные направления эколого-правовых исследований в сфере правового регулирования права на благоприятную окружающую среду граждан.

**Ключевые слова:** права человека, конституция, право на жизнь, окружающая среда, реализация права.

## THEORETICAL ASPECTS THE HUMAN RIGHT TO A FAVORABLE ENVIRONMENT

**Elnazarov D.Kh., Alifbekov A.N.**  
*Russian-Tajik (Slavonic) University (Dushanbe, RT)*

**Annotation.** *The article deals with certain aspects of the constitutionalization of the rights of citizens to a favorable environment. This subjective right of citizens is analyzed from the point of view of constitutional values and the balance of environmental interests and interests of economic development. Attention is drawn to the internal and external contradictions of the right to a favorable environment. Some topical areas of environmental and legal research in the field of legal regulation of the right to a favorable environment for citizens are outlined.*

**Keywords:** *human rights, constitution, right to life, environment, realization of law.*

Конституционные и природоохранные права всегда представлялись в качестве научной дискуссии среды отечественных теоретиков и конституционалистов. Степени важности данных категорий прав в условиях современной таджикской правовой действительности имеет важное жизненное значение, т.е. правовая природа указанных категорий прав в правовой доктрине представляется объектом правового регулирования не только национального права, но и международного права.

Одним из специфических вопросов современного государственного и экологического законодательства является в нынешнее время, регламентация и реализация права человека на устойчивую природную среду в Республике Таджикистан.

Механизм реализации вышеупомянутого института в Республике Таджикистан, исходя из мнения таджикских ученых в некоторых областях, нуждается совершенствованию и законодательную корректировку, в частности важными направления реформирования представляются социально-экономические отношения трансформация, которых также непосредственно влияют на правосознание и правовой культуры человека в обществе.

Теоретико-правовая доктрина подтверждает многоаспектности рассматриваемого вопроса и следует полагать, что спектр исследования проблемы необходимо проводит с учетом, как международного, так национального права. Вопрос «право на благоприятную окружающую среду» в таджикской правовой действительности находится на стадии развития и представляется важным аспектом правового реформирования в целом.

Базовые предпосылки прав и свобод человека и гражданина, заложенные в Конституции Республики Таджикистан предусматривают, что «человек, его права и свободы являются высшей ценностью» (ч.1, ст.5) и далее вопрос «окружающую среду», связывает с вопросами охрана здоровья человека. В частности, ч.1 ст.38 гласит «каждый имеет право на охрану здоровья. Государство принимает меры по оздоровлению окружающей среды и т.д.» [1].

Первое официальное признание права на устойчивую окружающую среду было сделано в Стокгольмской декларации, которая была принята на природоохранном саммите в 1972 году [2, с.69].

За четыре десятилетия со времени принятия Стокгольмской декларации, право на благоприятную окружающую среду распространилось по всему миру. По оценке на 2020 год, 186 из 196 государств - членов ООН данная проблема стала объектом правового регулирования конституции разных стран, и в дальнейшем образовался в качестве самостоятельной отрасли в сфере правовой доктрины многих государств мира.

Дальнейшего развития и правового обеспечения права на благоприятную окружающую среду способствовало формированию региональных соглашений по правам человека, которые были признаны и ратифицированы более чем 136 странами. В том, числе: Межамериканская комиссия по правам человека, Межамериканский суд по правам человека, Африканская комиссия по правам человека и народов, Европейский суд по правам человека и Европейский комитет по социальным правам.

Понятие и сущность «право человека на благоприятную окружающую среду», как и другие юридические категорий обладают спецификой и особенностями. В частности, по мнению М.М. Бринчука данное правовое явление, прежде всего, означает - «что благоприятная нас природная среда за это время считается абсолютной, когда ее положение отвечает законодательствам и нормативам чистоты, то есть, когда она отвечает требованиям естественных прав человека и гражданина, предусмотренные нормами международного права» [4, с.86].

Следует обратить внимание на высказывания М.Н. Рудмана, который говорит, что «деятельность государства в области прав человека на благоприятную окружающую среду и его института в настоящее время в целом зависит от рационального использования природных ресурсов, то есть, способности участников национального и международного права обеспечить такую рационализацию. Рационализация использования природных ресурсов для реализации жизненно важных потребностей личности является одним из основ экономики и построения основ демократического, правового государства и, в частности, развитии юриспруденции».

В настоящее время, в правовой доктрине Республики Таджикистан и международном праве институт права на благоприятную окружающую среду представляется как неотъемлемое право человека и выражается в том, что оно приобретает с момента рождения человека и прекращается его смертью.

Одновременно, вышеупомянутый институт носит и производный характер, иными словами, названный институт признается и обеспечивается государством

и предусмотрено в нормах конституционного права и других смежных отраслях права.

В частности Е.А. Лукашева, отмечает, «что права человека на благоприятную окружающую среду, принадлежит к позитивным правам граждан и обеспечивается, охраняется государством в лице его государственных органов. Данная точка зрения, как правило, только охватывает узкое понимание прав человека».

Следует обратить внимание на то обстоятельство, что институционализация рассматриваемой нами проблемы можно раскрыть с учетом двух его аспектов: во-первых, то, что оно является объективным правом, то есть, правом, которое предусматривается законодательством; во-вторых, выступает в качестве субъективного права носители, которого наделены правами и обязанностями. С точки зрения теоретико-правовой доктрины субъективные права подразумевают смысл и содержание прав человека, т.е. конкретные права человека и гражданина. Например, право на жизнь, право на здоровье, право на благоприятную окружающую среду и т.д.

Будучи закрепленным в национальном законодательстве, вышеназванный институт права на благоприятную окружающую среду взаимосвязан с другими правами и свободами человека и гражданина. Оно появляется с момента реализации и охраны иных прав, оказывая законодательное влияние на их регулирование.

В некоторых зарубежных странах доминирует понятие расширения сути и закономерности вышеназванного права - права на самочувствие, права на жилье и др. В.В. Петров в 1976 году подчеркивал, что в положениях международных документов право на благоприятную окружающую среду рассматривается как один из специфических институтов конституционного права [5, с.27].

Н.В. Даваева полагает, «что право человека на благоприятную окружающую среду, как правовая категория юридической науки и как один из основных институтов конституционного права, не осознается в полной мере и в настоящее время является менее изученной в научной литературе. В иерархии правовой ценности институт прав человека на названную область вообще, в широком смысле, воспринимаются и оцениваются как право последнего порядка, которое, в нынешнее время относится к правам последнего поколения» [7, с. 98].

Представляется, что институт права человека на благоприятную окружающую среду в конституционном праве считается одним из своеобразных институтов личного права человека и гражданина, и данные блага принадлежат всему народу и всему населению во всем мире, которые гарантируют высокий степень психологического здоровья.

Подводя итог, необходимо отметить, что в основе института права на благоприятную окружающую среду лежат, комплекс мер государственной защиты и охраны, направленных на его достойную обеспечению. Значимость правового регулирования сфер общественных отношений данной области непосредственно связано с его естественно-правовой природы. Следовательно, формирования механизма правового обеспечения рассматриваемой области не ограничивается внутригосударственными правовыми ресурсами, поскольку первостепенное значение в ближайшем будущем будут играть международно-правовые акты.

Следует отметить, что право человека благоприятную окружающую среду (институт экологического и государственного права) необходимо рассмотреть, как субъективное право индивида и как один из основных институтов конституционного права, а также смежный и межотраслевой правовой институт, охватывающий своеобразные отношения, возникающие в сфере взаимодействия индивида с окружающей средой.

Утверждается, что важную роль в установлении и регламентации данного института играет конституционного права, экологическая права даже конституционная политика государства, которая способна определить конкретные цели и задачи по совершенствованию современного законодательства, внести сообразные корректировки в направления деятельности органов государственной власти.

#### Литература

1. Конституция Республики Таджикистан 6 ноября 1994 года (в ред. Референдума от 26.09.1999 г., от 22.06.2003 г., от 22.05.2016 г.) <https://www.mfa.tj/ru/main/Tajikistan>. (дата обращения 10.01. 2023г).
2. Авакьян С.А. Конституция России: природа, эволюция, современность: 2-е изд. - М.: РЮИД, -2019. -278с.
3. Бринчук М.М. Человек как объект экологических отношений // Экологическое право. 2018. -№ 3. -С.3-9.
4. Бринчук, М.М. Экологическое право России: Учебник. 2-е изд., перераб. - М.: Юрист, 2016. -670с.
5. Васильева М.И. О соотношении интереса и субъективного права в экологических правоотношениях // Экологическое право. 2009. -№4. -С.26-32.
6. Виноградов С.В., Транин А.А. СНГ: межгосударственные отношения в области охраны окружающей среды // Государство и право. -М., 2017. -№12. -С.37-43.
7. Даваева К.К. Конституционное право на благоприятную окружающую среду в Российской Федерации: правовое регулирование и судебная защита: дис. ...канд. юрид. наук. 12.00.02. -М., 2008. -185с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВ ГОРНОГО РЕГИОНА ТАДЖИКИСТАНА Абдуллаев С.Ф., Азизшоев К. ....	3
ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИСТОЧНИКИ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРЕ Абдуллаев С.Ф., Нозиров Д.Ф., Алиназаров Б.Т., Гулов М.Г. ....	8
МЕХАНИЗМ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ СХОДА СЕЙСМОИНДУЦИРОВАННОЙ ЛЕДОВО-КАМЕННОЙ ЛАВИНЫ В ХРЕБТЕ ЦАМБАГАРАВ, МОНГОЛЬСКИЙ АЛТАЙ Агатова А.Р., Непоп Р.К., Ганюшкин Д.А. ....	14
ФОРМЫ РЕЛЬЕФА, СОЗДАННЫЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ЛЕДНИКА ПОД ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА (ЛЕДНИК КЫЗЫЛСУ № 825) Азимшоев М.М., Авзалшоев Н.А., Курбонбеков Ф.А. ....	19
ДЕГРАДАЦИЯ ДОЛИННЫХ ЛЕДНИКОВ И СЕЛЕВАЯ ОПАСНОСТЬ Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Калов Р.Х., Акаев А.Р. ....	23
К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ НА РЕЖИМ ОСАДКОВ В СРЕДНЕЙ АЗИИ ЯВЛЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОГО МАСШТАБА ТИПА ЭЛЬ НИНЬЯ И ЛА НИНЬЯ Бобохонова М.Н., Кадыров Б.Ш. ....	28
МОНИТОРИНГ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАЙОНАХ АНТАРКТИЧЕСКИХ ОАЗИСОВ Боронина А.С., Кашкевич М.П. ....	31
СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ЛЕДНИКОВ АЛТАЯ Ганюшкин Д.А. ....	37
СОВРЕМЕННЫЕ ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ОПОРНЫХ ЛЕДНИКОВ ТЯНЬ-ШАНЯ Губанов А.С., Поповнин В.В., Сатылканов Р.А. ....	41
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА В СВЕТЕ ПОСЛАНИЙ ПРЕЗИДЕНТА РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН Давронов И.О., Касымова Ф.А. ....	47
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ КАК ОСНОВНОЙ ФАКТОР СТАБИЛЬНОСТИ ГОСУДАРСТВА Диноршоев А.М., Обидова М.Н. ....	53
GLACIAL STREAM DAMAGE IN MOUNTAINOUS AREAS (Shugnan district) Mirmastov J., Edgar W. ....	58
ВАРИАЦИЯ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРЕ ГОРОДА ДУШАНБЕ Иматшоева Н.Д., Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф. ....	62
СТАТИСТИЧЕСКИЙ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТОКА РЕК ЧИРЧИК- АХАНГАРАНСКОГО БАССЕЙНА Карандаева Л.М., Карандаев С.В., Мягков С.С., Гулмурзаева Б.А. ....	69
СОСТОЯНИЕ КАСКАДА ПРОРЫВНЫХ ЛЕДНИКОВЫХ ОЗЁР В РАЙОНЕ СТАНЦИИ НОВОЛАЗАРЕВСКАЯ (ОАЗИС ШИРМАХЕРА, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА) ПО ДАНЫМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ Кашкевич М.П., Боронина А.С., Романова Н.Е. ....	74
СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРОБАХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И ПОЧВ МОРЕН ЛЕДНИКА ЯКАРЧА Каюмов А.К., Абдуллаев С.Ф., Абдуллаева М.К., Каюмова Д.А. ....	80

ОЦЕНКА БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В КРИОКОНИТАХ ЛЕДНИКОВ ПРИЭЛЬБРУСЬЯ И «БЕЗЕНГИЙСКОЙ СТЕНЫ», ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАВКАЗ <b>Кушнов И.Д., Абакумов Е.В., Темботов Р.Х.</b> .....	<b>87</b>
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА ВОДЫ С КАМЕННЫХ ГЛЕТЧЕРОВ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ, РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН <b>Лебедева Л.С., Гончаренко В.В., Лыткин В.М.</b> .....	<b>92</b>
РАЗВИТИЕ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ГОСУДАРСТВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ И ФАКТОРЫ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ СОВМЕСТНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО <b>Мавлони М.С., Мавлони С.Р.</b> .....	<b>98</b>
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СНЕГА И ЛЬДА ЛЕДНИКА № 31 ХРЕБТА СУНТАР-ХАЯТА (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ) <b>Макаров В.Н.</b> .....	<b>104</b>
КАК СЕБЯ ЧУВСТВУЕТ АРАЛЬСКОЕ МОРЕ СЕГОДНЯ? <b>Надыров Ш.М., Мавлони М.С.</b> .....	<b>110</b>
КЛИМАТИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ПОДВИЖКИ ГОРНО-ДОЛИННЫХ ЛЕДНИКОВ ЮВ АЛТАЯ В ГОЛОЦЕНЕ <b>Непоп Р.К., Агатова А.Р., Назаров А.Н., Мыглан В.С.</b> .....	<b>115</b>
УНИКАЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ ГЕОНАСЛЕДИЯ И ГЕОТУРИЗМА БАССЕЙНА РЕКИ ЧИЛИК (СЕВЕРНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ, КАЗАХСТАН) <b>Нигматова С., Бекботаева А., Пирогова Т., Калибек Б.</b> .....	<b>119</b>
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОМПОНЕНТОВ СТОКА РЕК ПАМИРА И ПАМИРО-АЛАЯ В МАЛОВОДНЫЕ И СРЕДНИЕ ПО ВОДНОСТИ ГОДЫ <b>Ниязов Д.Б., Калашникова О.Ю.</b> .....	<b>130</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПЫЛЕВЫХ ВТОРЖЕНИЙ С ЛИДАРОВОМ POLLY - ХТ В ГОРОДЕ ДУШАНБЕ <b>Нозиров Д.Ф., Хофер Дж., Рахими Ф., Абдуллаев С.Ф., Бобоева Н.</b> .....	<b>135</b>
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЕДНИКА ДЖАНКУАТ НА КАВКАЗЕ: ТЕНДЕНЦИИ И АНОМАЛИИ <b>Поповнин В.В., Губанов А.С.</b> .....	<b>140</b>
ИНДИКАЦИЯ ДЕГРАДАЦИИ КАМЕННЫХ ГЛЕТЧЕРОВ ГОР ГИССАРО-АЛАЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ХОДЖА-ОБИ-ГАРМ <b>Разыков Б.Х.</b> .....	<b>146</b>
СОСТОЯНИЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛАВИН В ТАДЖИКИСТАНЕ: ЛАВИННООБРАЗУЮЩИЕ ФАКТОРЫ И КРАТКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ПРОГНОЗА СНЕЖНЫХ ЛАВИН <b>Саидов М.С., Саидзода С.М.</b> .....	<b>151</b>
ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА ЛЕДНИКИ ТАДЖИКИСТАНА <b>Салихов Ф.С., Шодии Бек</b> .....	<b>157</b>
ЛЕОНИД ДМИТРИЕВИЧ ДОЛГУШИН – ВЫДАЮЩИЙСЯ УЧЁНЫЙ-ГЛЯЦИОЛОГ <b>Смуров А.В., Дубинин Е.П., Лаптева Е.М., Филатова В.Е.</b> .....	<b>163</b>
ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ПРОНИЦАЕМОСТИ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА <b>Спирidonov А.В.</b> .....	<b>169</b>

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ НА РЕСУРСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ Филимонова Е.А., Морозов Д.О., Гриневский С.О., Поздняков С.П. ....	173
СТАБИЛЬНЫЕ ИЗОТОПЫ КИСЛОРОДА И ВОДОРОДА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ИССЫК- КУЛЬСКОГО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО БАСЕЙНА, ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКИЙ СКЛАДЧАТЫЙ ПОЯС Харитонов Н.А., Барановская Е.И., Соколовская М., Лаврушин В.Ю., Челноков Г.А., Брагин И.В., Филимонова Е.А.....	178
ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ИОНЫ В АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЯХ ГОРОДА ДУШАНБЕ Шарипов С.Р., Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А. ....	183
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРАВ ЧЕЛОВЕКА НА БЛАГОПРИЯТНУЮ ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ Эльназаров Д.Х., Алифбеков А.Н. ....	188

Подписано в печать 11 марта 2023 года  
Заказ 42. Тираж 100 экз.  
Отпечатано в типографии  
филиала Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе.  
734003, город Душанбе, улица Бохтар, 35/1