

Information about authors: Muhibulloev Nematullo Mukhabatulloevich, doctorant of PhD, TTU named after acad.M.Osimi, tel.: 988013979, E-mail: mukhibulloev@list.ru; Niyazov Jafar Bakhodurovich – candidate of historical sciences, - head of laboratory of the Institute of water problems, hydropower and ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, tel.: 935650777, E-mail: niyazovjafar@mail.ru; Amirzoda Orif Hamid - Doctor of Technical Sciences, dotsent, Director of the Institute of water problems, hydropower and ecology of the NAST, tel.: 987387272, E-mail: orif2000@mail.ru

УДК 551.324.63

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ПУЛЬСИРУЮЩИХ ЛЕДНИКОВ БАССЕЙНА РЕКИ СУГРАН

Саидзода Х., Наврузшоев Х.Д.

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

Аннотация. В течение последних 30 лет изучалась активация мощных ледников в бассейне реки Сугран и определен период движения трех пульсирующих ледников: Сугран, Шини-Бини, Бырс. Исследование ледников бассейна проводилось методом дистанционного мониторинга который является единственным методом получения первичной информации о состоянии пульсации и изменении баланса ледников. Полученные результаты за 1993-2023 годы показывают, что в бассейне реки Сугран имеется 8 пульсирующих ледников.

Ключевые слова: пульсирующие ледники, река Сугран фронт активизации, мониторинг, космический снимок.

Введение. Ледники занимают площадь около 16,2 млн км², т.е. 10,9% поверхности суши при этом в них сосредоточено примерно 27 млн км³ льда, что соответствует почти 2/3 пресной воды на планете. Основная масса ледникового льда находится в Антарктиде – почти 14 млн км². Существует огромное количество классификаций ледников по морфологическим, геофизическим и динамическим показателям. В самом общем виде по форме можно выделить три класса [9]: покровные, горно-покровные, горные. Отдельно следует сказать о пульсирующих ледниках, т.е. подверженных периодическим резким подвижкам (пульсациям). К ним относится не менее 5% всех ледников мира [7]. Пульсирующие ледники распространены по всему миру, и внезапное движение языков ледников приводит к образованию озер и плотин, а когда они прорываются, происходят наводнения и оползни. Научный интерес представляет

изучение таких природных явлений, как пульсация языков ледников, изучение механизма пульсации и разработка методов прогнозирования пульсации языков ледников. Пульсирующие ледники это - ледники, которым свойственны резко выраженные релаксационные колебания, приводящие к перестройке их динамик режима и перераспределению вещества без изменения общей массы. Пульсирующие ледники чрезвычайно опасны из-за своей неустойчивости. Движение ледников не является случайным явлением, а связано с динамической неустойчивостью самих ледниковых систем. Период от окончания одного движения ледника до окончания следующего движения называется периодом пульсации. Он состоит из двух основных стадий: подвижки и восстановления. В стадии подвижки происходит релаксационная разрядка напряжений, накопившихся на леднике за предшествующую стадию восстановления, ледник

растрескивается, скорости движения льда увеличиваются на 1–2 порядка и более, что приводит к перемещению масс льда из верховий ледника в его средний зону и низовья. При этом поверхность ледника в верховьях пульсирующей части понижается, в средней части и низовьях повышается, а конец ледника продвигается вперёд. По завершении подвижки наступает стадия восстановления, в которую происходит накопление масс льда в верховьях пульсирующей части, скорости движения льда постепенно увеличиваются, лоб активизирующейся части продвигается вниз по течению, сокращая протяжённость его омертвевшей и деградирующей части до тех пор, пока ледник не восстановит начальную конфигурацию, предшествующую очередной подвижке.

Место исследования. Бассейн реки Сугран расположен в бассейне реки Муксу с левой стороны ледниковой системы Федченко. Ледники бассейна реки Муксу характерны более широким спектром морфологических типов. Они расположены вдоль обоих склонов речной долины

протяженностью более 90 км, которую обрамляют хребты с вершинами более 7 км. На склонах хребтов по мере подъема в горы на 3–4 км количество осадков возрастает до 2000 мм, но осадки распределяются очень неравномерно [4]. Бассейн реки Сугран окружен горным хребтом Курай Шапак и хребтом Петра Первого. В бассейне реки Сугран зарегистрировано 34 ледника. Ледники №772, №773, №775, №776, №787, №783, №795 и №799 являются пульсирующими ледниками [5]. Пульсирующие ледники бассейна реки Сугран представляют собой сложную ледниковую систему, состоящую из четырех потоков и двух притоков. Он расположен в верховьях одноименной реки, в бассейне находятся также известные пульсирующие ледники Бырс, Гандо и Шини-Бини, которые занимают 80% этой площади [1]. По данным Каталога ледников СССР, общая площадь системы ледников бассейна реки Сугран составляет 94,2 км², а также в данном бассейне имеется 3 ледника размерами менее 0,1 км², с общей площадью 0,2 км² [8].

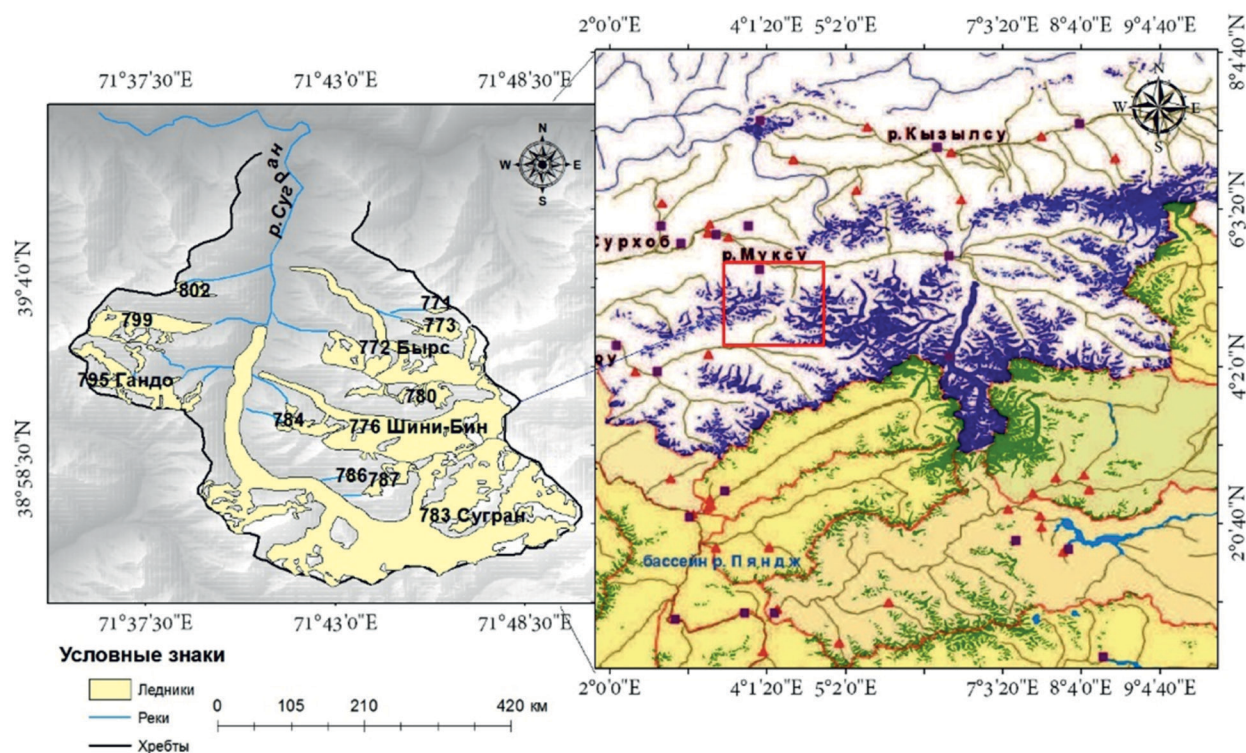


Рис. 1

Методы исследования. Информация о расположение и морфологических типов пульсирующих ледников бассейна реки Сугран получена с использованием Каталога ледников СССР, а новые данные собраны методом дистанционного зондирования. Механизм и характер движения языка пульсирующих ледников изучен по спутниковым снимкам Landsat 4-5TM, Landsat 7 ETM+ и Landsat 8-9OLI, /TIRS, Landsat 1-5 MMS, Sentinel 2A MSI -2021, которые были скачаны и использованы из архива сайта - <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Вышеперечисленные спутниковые снимки в период с 1993 по 2023 гг. использовались для определения времени подвижки ледников. Полученные снимки обрабатывались в программе Arcgis 10.6, которые послужили проведением границы ледников в периоды их пульсации, с последующим составлением карты пульсации ледников бассейна реки Сугран. С помощью онлайн платформы «Theia Cartographic Layers» (рис. 2) нам удалось найти информацию об изменении высоты ледников, скорости подвижки ледников и периода их пульсации с 2000 по 2019 годы.

Результаты. Пульсирующий ледник Сугран один из самых больших ледников бассейна который расположен в северозападной части бассейна реки Сугран. Общая площадь ледника составляет 47,1 км², а его длина 22 км. Высшая точка ледника находится на высоте 6720 м, самая низкая точка ледника на высоте 3280 м, а его фирновая линия расположена на высоте 4780 м. Языковая часть ледника покрыта мореной площадью 4 км². Ледник открыт в 1899 году В. И. Липским, который дал ему название по одноименной реке. В 1913 году на леднике работала немецко-австрийская экспедиция под руководством В. Риккмера, которая дала леднику имя Брюкнера. В 1932 году ледник исследован экспедицией (ТКЭ). В 1939 году средняя часть ледника исследована московскими альпинистами под руководством профес-

сора В. В. Немыцкого. В 1947 году в бассейне ледника Сугран работала группа альпинистов под руководством Е. Абакова. Самый большой и одновременно пульсирующий ледник Сугран начиная с 1913 г. непрерывно отступал вплоть до 1974 г [5].

В ходе исследования установлено, что пульсирующий ледник Сугран является одним из активных пульсирующих ледников бассейна реки Муксу. За период исследований с 1993 по 2023 год определены два периода пульсации: первый период пульсации ледника наблюдался в 1998 года. Движение ледника начинается на высоте 4130 м и заканчивается на высоте 3140 м. Скорость движения ледника с 2002 по 2005 год составляла 3,1 м в сутки, и за этот период ледник переместился на 4,5 км. Бурное движение в активную фазу продолжалось около 4 лет. Пик движения ледника был определен в период с 2002 по 2005 год.

Установлено, что до 2001 года площадь ледника Сугран составляла 49,9 км², а с 2002 по 2005 год площадь ледника достигала 53,2 км². После 2006 года ледник находился в стабильном состоянии, а в 2014 году начался второй период пульсации ледника. В 2014 и 2017 годах небольшие потоки наблюдались выше ледника Сугран. Самая высокая скорость наблюдалась в мае 2020 года, а осенью 2020 года и в начале лета 2021 года скорость была относительно высокой. Это совпало с самым высоким уровнем роста языка ледника в период с 2017 по 2020 год. В середине лета 2021 года произошло резкое замедление поверхностной скорости, а с октября 2021 года снова произошло ускорение. Еще один пик произошел в июле 2022 года и снова резко уменьшился после постепенного замедления в течение года. До этого момента период пульсации ледника наблюдался в части активизации ледника, однако, данный период пульсации полностью не завершился. Бурное движе-

ние в активную фазу продолжалось около двух с половиной лет. Период повторения пульсации ледника Сугран занимает

около 18-26 лет. Предыдущие пульсации ледника были зафиксированы в 1972-1980 годах [2, 3].

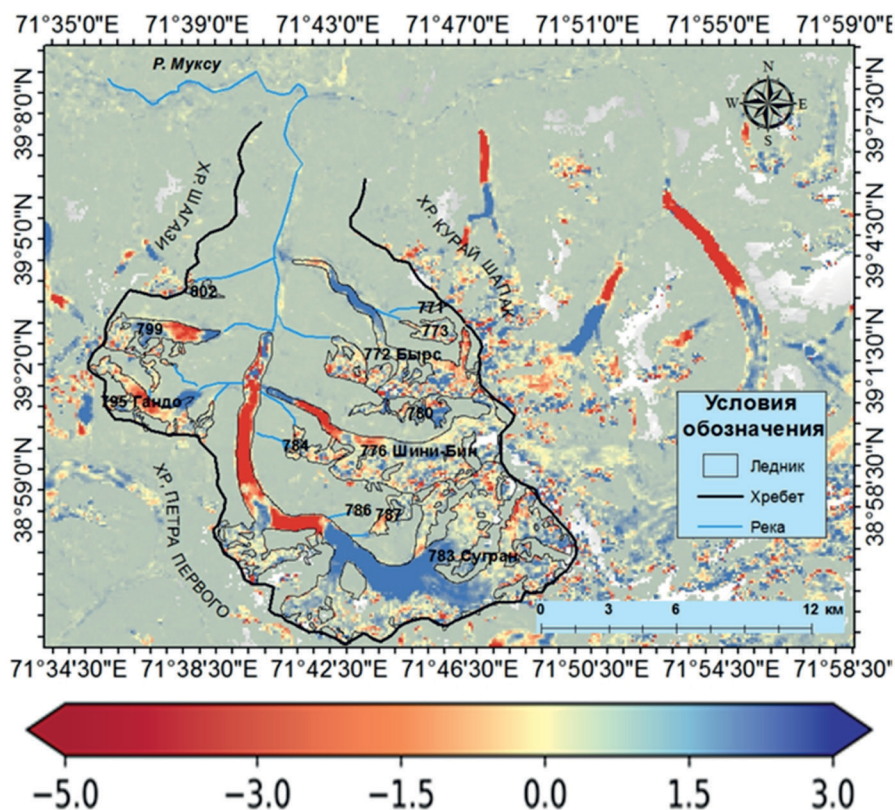


Рис.2. Изменение поверхности ледников бассейна реки Сугран в период 2010-2019 гг. (м г-1)



Рис. 3. Пульсация языка ледника Сугран 1998-2005 гг.

Ледник Бырс. Ледник берет начало в узком цирке на склонах пика Шапак (5667 м) и имеет узкий длинный язык с двумя ледопадами. В долину р. Сугран язык спускается с устьевого уступа и зарывается в морену. При подвижках он образует здесь широкую ледяную “лапу”, ниже которой расположена моренная “лапа”, оттесняющая р. Сугран к противоположному берегу. Согласно исследованиям ученых пульсации ледника наблюдались в 1899, 1932, 1965-67, 1981 годах. После 1991 года ледник находился в состоянии деградации. Ледник был открыт В. И. Липский в 1899 г. который дал ему название по одноименной реке, вытекающей из ледника. С 1981 по 1983 годы ледник пульсировал площадью 1260 м [5, 6]. Тип ледника является долинным. Ледник расположен в северо-западе бассейна реки Сугран, а

общая площадь ледника составляет 9,9 км² при длине 11,8 км. Высшая точка ледника находится на высоте 5660 м, самая низкая точка ледника — на высоте 2820 м, а его фирновая линия — расположена на высоте 4440 м. Языковая часть ледника покрыта мореной площадью 2,7 км². Интенсивное движение ледника наблюдается с 1993 года, а в 1999 году движение ледника усилилось, до 2008 года движение ледника достигло 2100 метров. По состоянию на 2017 год ледник находился в состоянии деградации. Как видно из рис. 2, с 2010 по 2019 год толщина слоя льда наблюдалась в языковой части ледника. Вторым период наступления ледников наблюдался в 2018 году. В течение следующего периода пульсации с 2021 по 2023 год язык ледника продвинулась на 150 м.

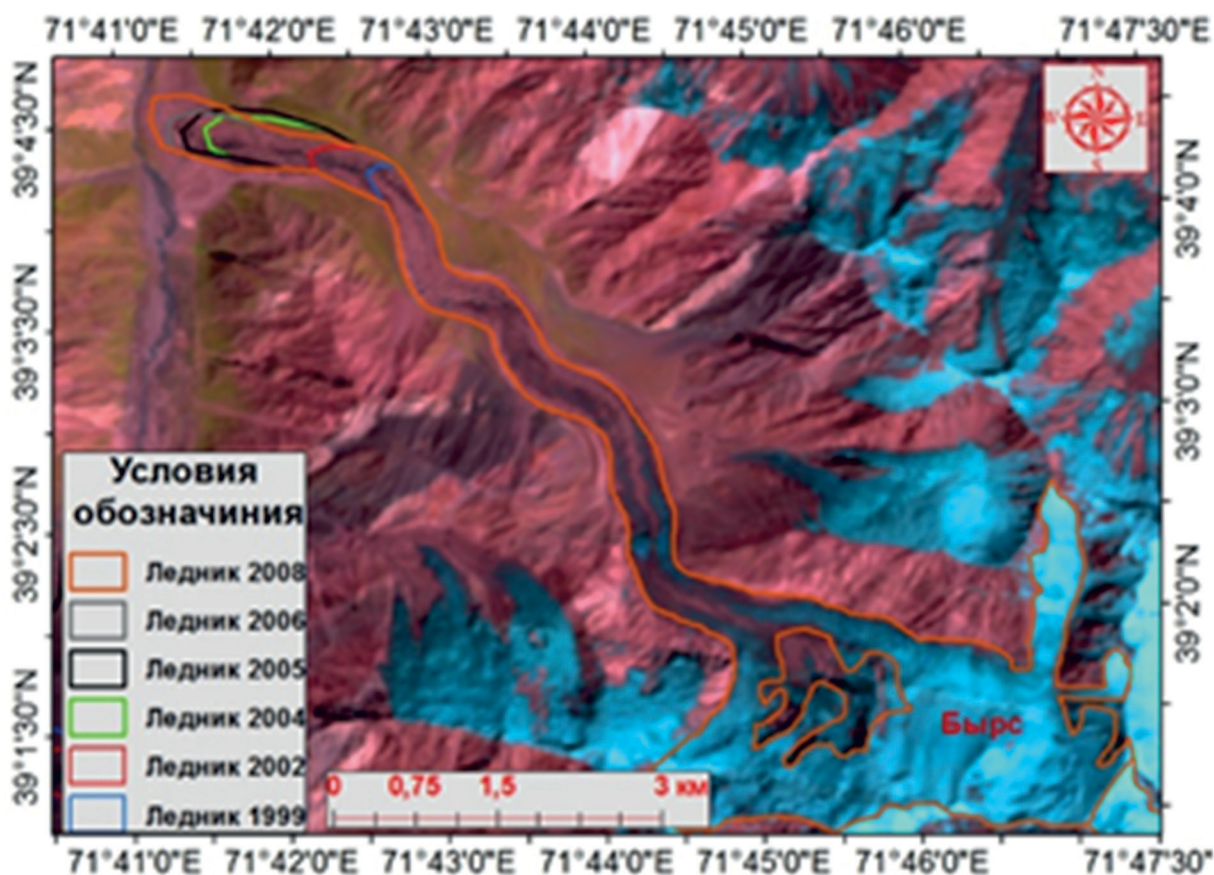


Рис. 4. Пульсация ледника Бырс 1999 – 2008 гг. Снимок был взят из спутника *Lansat-9* посредством сайта (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Ледник Шини-Бини. В 1927 г. ледник Шини-Бини сливался с концом ледника Сугран, в 1932 г. он еще выходил в долину реки Сугран, и между его концом и ледником Сугран существовало озеро с ледяным дном. В 1947 г. язык ледника отступил в свою долину и с ледником Сугран больше не соединялся [5]. По свидетельству Л.В. Десинова, в 1959 — 1960 гг. ледник Ши-

ни-Бини наступал, его язык выдвинулся на 150 — 200 м в долину р. Сугран, а в 1961 г. вспучившийся и растрескавшийся язык ледника почти полностью перегородил долину этой реки и продвинулся по ней на некоторое расстояние. Затем ледник снова деградировал, и к 1981 г. его язык далеко отступил вверх по своей долине и находился в 2,8 км от ее устья.

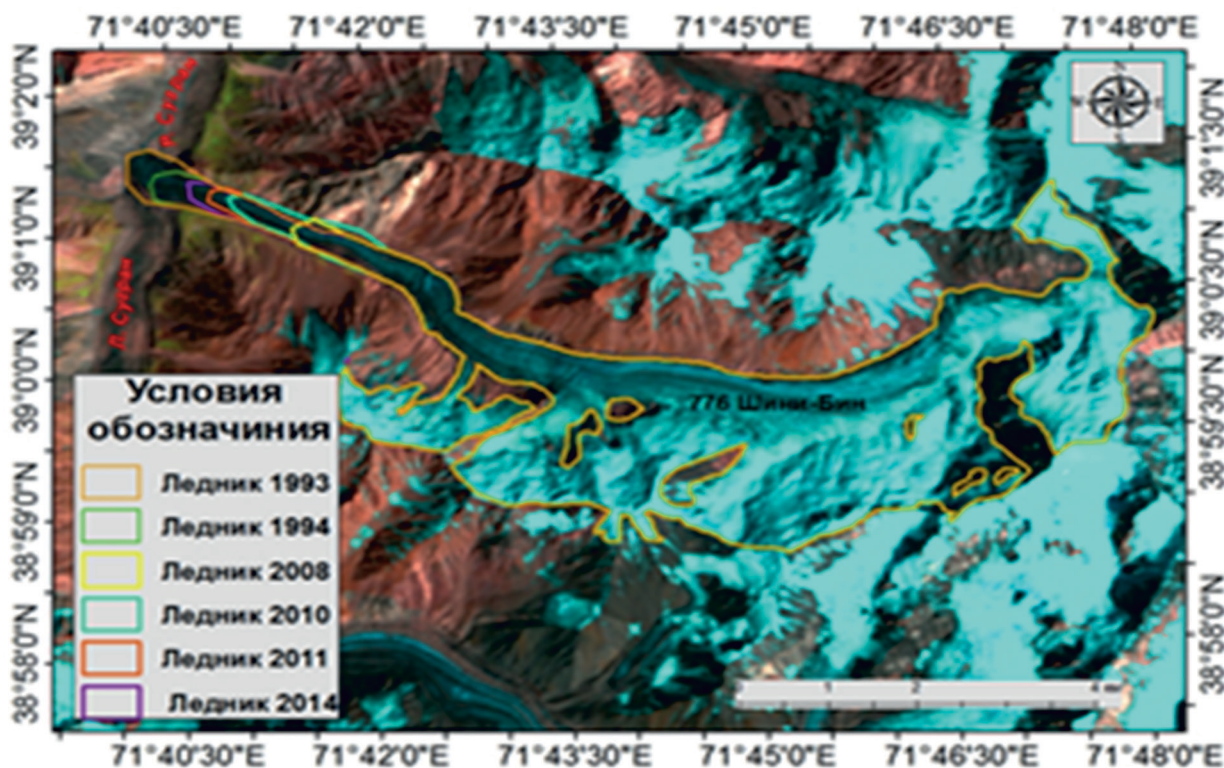


Рис. 5. Пульсация ледника Шини-Бини 1993 – 2014 гг. Снимок был взят из спутника Landsat - 5 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Анализ космических снимков показал, что в 1976 г. четко обозначился динамический конец ледника, ниже которого деградирующий язык ледника постепенно превращался в мертвый лед. В последующие годы наблюдалось отступление морфологического конца и продвижение активного динамического конца, за 1982 и 1983 гг. составившее 350 м и к 1990 г. — еще 1,7 км [5]. В конце 1990 г. ледник имел широкий выпуклый язык с крутым лбом. В 1992-1994 годах на леднике был определен еще один период пульсации. Следует отметить, что в случае подвижки языка ледника течение реки Сугран пе-

рекрывается, это можно определить при каждой подвижке ледника. Как видно из рисунка 2, с 2000 по 2009 годы толщина слоя льда наблюдалась в части языка ледника. В 2006 году уже было замечено, что ледник находится в состоянии пульсации, которая наблюдалась на больших высотах. С 2008 по 2014 год ледник расширился до площади 1600 м, в этот период течение реки Сугран не было перекрыто. В ходе исследования было установлено, что до 2008 года площадь ледника составляла 17,3 км², а в 2014 год площадь ледника достигала 17,8 км².

Периоды подвижки пульсирующих ледников бассейна реки Сугран

Название ледника	Площадь, км ²	Длина, км	Годы подвижек	Продвижение ледника, км	Категория пульсации
Сугран	47,1	22	2002-2005	4,5	1
Бырс	9,9	11,8	1999-2008	2,1	1
Шини - Бини	10,3	16,4	2008-2014	1,6	1

Выводы. Данные дистанционного зондирования Земли дают возможность получать обновленную информацию в отдаленных и труднодоступных районах Таджикистана и определить подвижность ледников и другие процессы связанные с водными ресурсами и ледниками. Пульсирующий ледник №773 за период исследований не проявлял какие либо активности в то время на ледниках № 775, №787, №794, №795, и №799 были выявлены небольшие пульсации в языковых частях данных ледников. Наряду с подвижкой ледников наблюдается и сокращение ледников в этом бассейне. Ледник №803, который по Каталогу ледников СССР имел площадь 0,6 км², после 2018 года полностью растаял. А ледник №802 разделен на две морфологические части, которые мы обозначили на (рис. 1) номером №802, №802\1. Выявлены активные прогрессивные подвижки ледников Сугран, Бырс и Шини-Бини. Морфологические особенности пульсирующих ледников требуют более тщательного изучения, поскольку подобные ледники относятся к разряду нестабильных, а это, в свою очередь, затрудняет анализ их изменений за вековые периоды и исключает прямые предположения об их динамике в связи с изменениями глобальной температуры. Временами они продвигаются на большие расстояния перекрывая русло рек образуя озера. Примерами таких пульсаций могут служить ледники Медвежий и РГО на Памире и ледник Колка на Кавказе и др. Морфологические характеристики пульсирующих ледников требуют более детального изучения, поскольку такие ледники относят к нестабильным, что, в свою

очередь, затрудняет анализ их изменений на протяжении веков.

По мере продвижения ледника изменяются его длина и площадь, но масса не меняется. Изменение массы ледника наблюдается в период восстановления, в течение которого часть языка ледника находится в сокращающемся состоянии.

Из-за быстрого переноса большого количества ледяной массы вниз по течению во время подвижки ледника могут быть вызваны ряд стихийных бедствий, такие как прорыв ледниковых озер.

В этом контексте понимание процесса и механизмов подвижки ледников имеет большое научное значение для прогнозирования и уменьшения стихийных бедствий в результате пульсации ледников.

Литература

1. В. М. Котляков, Л. П. Чернова, А. Я. Муравьев, Т. Е. Хромова «динамика пульсирующих ледников бассейна реки Сугран на Памире» доклады академии наук, 2019, том 489, №3, С.307-312.
2. Zhenfeng W, Zongli J, Kunpeng W, Shiyin L, Yong Z, Xin W, Zhen Zh and Junfeng W., «Characteristics of Glaciers Surging in the Western Pamirs» Remote Sens. 2023, pg 1-17.
3. V.M.Kotlyakov,G.B.Osipova,D.G.Tsvetkov «Monitoring surging glaciers of the Pamirs, central Asia, from space» pg 125-134.
4. В. М. Котляков, Л. В. Десинов, С. Л. Десинов, В. А. Рудаков. «Подвижка ледников Памира в первые 20 лет XXI века» доклады российской академии наук о земле, 2020, том 4995, №1. С. 64-68.

5. Г.Б.Осипова, Д.Г.Цветков, А.С.Щетинников, М.С.Рудаков «Каталог пульсирующих ледников Памира» Гляциологическая ассоциация Москва, 1998г. С -114.
6. V M. Kotlyakov, G. B. Osipova, D. G. Tsvetkov "Fluctuations of unstable :mountain glaciers: scale and character" Annals of Glaciology 24 1997 pg- 338-343.
7. С.М.Говорушко "Ледники и их значение для человеческой деятельности" Вестник 2006. № 6 С. 60-70.
8. Каталог ледников СССР.- том 14 Средний Азия.-Выпуск 3. Амударья.- Часть 8. Бассейн реки Муксу- Гидрометеиздат, 1979 г. Стр. 76.
9. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. М.: ИГ РАН, 1997. Т. 1. 342 с.; Т. 2, кн. 1. 263 с., кн. 2. 270 с.

ОМЎЗИШИ ПИРЯХҲОИ НАБЗОНИ ҲАВЗАИ ДАРЁИ СУГРАН БО УСУЛИ ФОСИЛАВИ ЗОНДКУНОНИИ ФОСИЛАВӢ

Саидзода Х., Наврузшоев Х.Д.

Аннотатсия. Дар давоми 30 соли охир пиряхҳои набзони дар ҳавзаи дарёи Сугрон омӯхта шуда, даврҳои ҳаракати се пиряхи набзони: Сугран, Шини-Бини, Бирс муайян карда шуд. Омӯзиши пиряхҳои набзони ҳавза бо усули мониторинги фосилавӣ анҷом дода шуд, ки ин ягона усули ба даст овардани маълумоти аввалия дар бораи ҳолати набзони ва тағирёбии мувозинати пиряхҳо мебошад. Натиҷаҳои бадастомада дар солҳои 1993-2023 нишон медиҳанд, ки дар ҳавзаи дарёи Сугрон 8 пиряхи набзони мавҷуд аст.

Калимаҳои калидӣ: пиряхҳои набзони, дарёи Сугран, минтақаи фаъолишавӣ, мониторинг, таъсири моҳворагӣ.

REMOTE MONITORING OF THE SURGING GLACIERS OF THE SUGRAN RIVER BASIN

Saidzoda H., Navruzshoev H.D.

Annotation. Over the past 30 years, the activation of powerful glaciers in the Sugran River basin has been studied. This article determines the period of movement of three surging glaciers: Sugran, Shini-Bini, Byrs. The study of glaciers in the basin was carried out using the remote monitoring method. Remote monitoring is the only method of obtaining primary information about the state of surging and changes in the balance of glaciers. The results obtained show that there are 8 pulsating glaciers in the Sugran River basin. The study analyzed the results of space monitoring of the Sugran glaciers for 1993-2023.

Key words: surging glaciers, Sugran River, activation front, monitoring, satellite image.