

**Ф. К. Восидов¹, Н. Б. Курбонов^{2,3},
А. В. Митусов⁴, А. М. Халимов¹**

¹ Центр изучения ледников НАН Таджикистана, Душанбе, Таджикистан,

² Кандидат технических наук, Таджикский национальный университет,
Душанбе, Таджикистан

³ Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана,
Душанбе, Таджикистан

³ Кандидат сельскохозяйственных наук, Казахстанско-Немецкий Университет,
Алматы, Казахстан

e-mail: knomvarb.0502@gmail.com

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ПОДВИЖКА ЛЕДНИКА РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

В данной статье рассматривается временной период с 1977 по 2019 годы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что язык ледника РГО за период 1977-1992 году находится на стадии подвижки. Относительно 1977 года языковая часть этого ледника отступила на 118 м в 1992 г, а в 2018 г. на 793 м. В 2019 г. ледник РГО отступил на 9 метров относительно 2018 года. В 2009 г., 2011 г., 2013 г., 2016 г., 2018 г. и 2019 г. его язык активно наступал, перекрывая русло реки Абдукагор. Из-за чего река поменяла своё русло в долине. Пульсация ледника РГО объясняется динамикой температуры воздуха и накоплением веса при повышении атмосферных осадков или таянии снежников. Это подтверждается климатическим данным показывающими, что в данной местности годовое количества осадков уменьшилось на 14 %, а годовая температура воздуха повысилась на 0,8°C.

Ключевые слова: дистанционные зондирование, Landsat, Sentinel, изменение климата, подвижка ледника, РГО.

Введение. Подвижки пульсирующих ледников происходят периодически с продолжительностью полного цикла пульсации от 10-15 до 100 и более лет. В Таджикистане насчитывается [3, 10] свыше 40 «пульсирующих» ледников, которые имеют различный характер подвижки. Такие ледники, как Медвежий, Русское Географическое Общество (РГО), Дидал, Скогач, Абдукагор и другие, время от времени испытывают стремительные подвижки, которые могут перекрыть и запрудить реки, тем самым создают угрозу прорыва воды и катастрофических наводнений.

По данным Дробышева [4] на Кавказе опасно-пульсирующим ледником является ледник Колька, он имеет быстро-неопределённый пульсирующий характер. При подвижке этого ледника проходит сильная лавина наносящая, большой экономический ущерб [6, 9].

Наиболее изученным и единственным пока пульсирующим ледником, наблюдения на котором велись в течение всего периода пульсации, является ледник Медвежий на Западном Памире [1, 5]. Выявленные закономерности его динамики послужили основой для прогноза очередной подвижки ледника, который полностью оправдался [2].

Изучение изменения температуры воздуха показывает, что за базовый период в данной местности температура повысилась, и эти изменения могут привести к различным последствиям.

Множество пульсирующих ледников на территории Таджикистана ещё недостаточно изучены, что выносит неопределённости в сценарии оценки рисков. Ледник РГО, как и Медвежий при подвижке перекрывает русло реки Абдукагор. В результате образуется озеро, прорыв которого может нанести ущерб населённым пунктам вниз по течению. Динамика повторных подвижек ледника РГО до сих пор не определена.

Место исследования. Ледник РГО расположен в Ванчском ущелье между хребтов Дарваз и Академии наук (Центральный Памир), на территории Республики Таджикистан (рис.1). Это крупнейший ледник в бассейне реки Ванч (в верховьях – реки Абдукагор). Длина ледника составляет – 24,2 км, а площадь поверхности – 64,4 км².

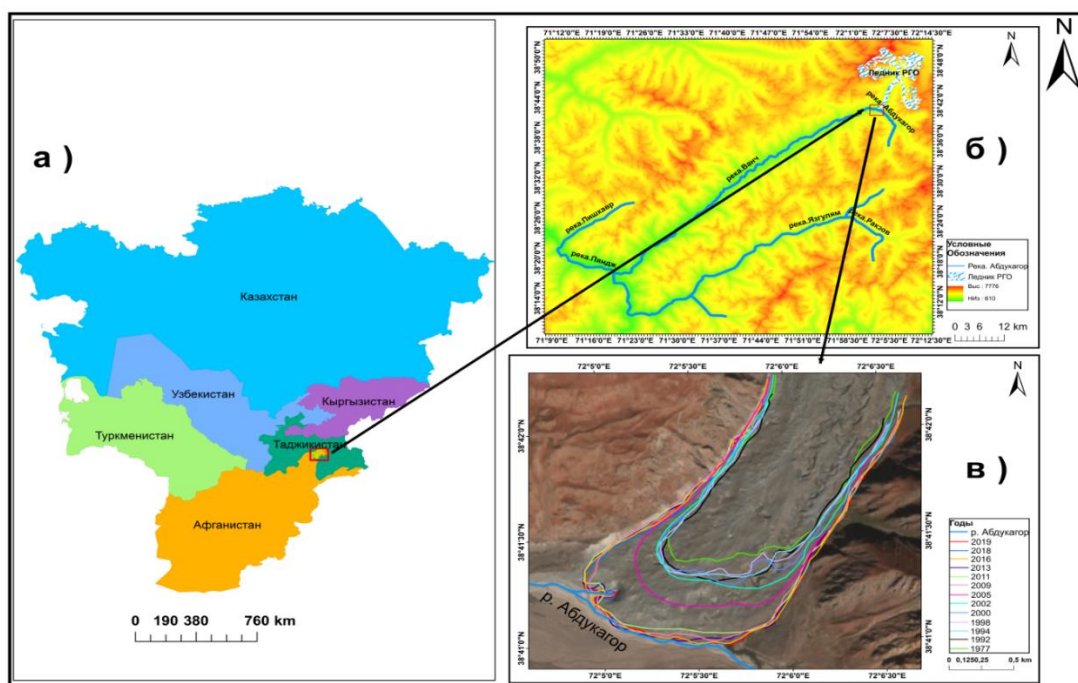


Рис.1. Карта объекта исследования: а) Центральная Азия; б) Бассейн реки Ванч и Язгулям; в) Язык ледника РГО

Рельеф района. Район бассейнов рек Ванч и Язгулям относится к Памирскому тракту с высокими горами и глубокими долинами. Высотность меняется в широких пределах. Максимальная высота поднятия (до 7000 м) характеризуется хребет Академии Наук в районе пика Исмаила Самани и Гармо. Данный район отличается большими абсолютными и относительными высотами. Глубокое расчленение рельефа местности является главным очагом крупного современного оледенения. Все наиболее крупные ледники бассейнов рек Ванча и Язгулема приурочены к району стыка хребта Академии Наук с хребты Дарваз, Ванч и Язгулем.

Здесь можно сказать, что рельеф водоразделов среднегорного типа, широкая сеть глубоко врезанных долин и большие абсолютные высоты создают благоприятные условия для развития оледенения преимущественно долинного и карового типа [5].

Климатические условия. Климат данного района связан с его географическим положением, и расположением на западной периферии обширного горного поднятия. Климат ледниковой зоны обусловлен в большей степени влиянием свободной циркуляции атмосферы и вертикальной зональностью.

Ветровой режим очень неоднороден в пространстве и во времени. Скорость ветра в различные периоды определяется барической обстановкой и соотношением направлений основного потока и хребтов. В целом скорость ветра повышается в зимние месяцы. В теплом полугодии (III–X) велика роль горно-долинной циркуляции, которая здесь получает большое развитие благодаря соседству раскалённых полупустынь и ледниковых полей.

Основные климатические условия в верховье реки Ванч характеризуются по метеостанции имени академика Горбунова на леднике Федченко, ее высота составляет 4300 м над уровнем моря.

По данным этой станции летом температура повышается до $-2 - -3^{\circ}\text{C}$ зимой средняя температура опускается до -18°C . Низкие температуры в высокогорьях по хребтам Дарвоз, Ванч, Язгулям и Академии Наук благоприятные для выпадения твёрдых осадков.

Низовья реки Ванч характеризуется климатическими данными станции Хумраги. Метеостанция Хумраги расположена на высоте 1320 м над уровнем моря, ее закрытость между двумя хребтами ограждает от холодных вторжений и выветривания. Зимой средняя температура опускается до -2°C , а летом поднимается до $+26 - 27^{\circ}\text{C}$ [11]. Таким образом, климат низовья можно считать умеренно теплым, а верховья – сурово холодным.

Методы исследования. В статье проведено дешифрирование космических снимков за период с 1977 по 2019. Для определения границы ледника, использовали снимки спутников Landsat и Sentinel-2 полученные с интернет сервиса Earth Explorer Геологической службы США [8]. Этот уровень обеспечивает определённую точность Гео позиционирования на основе использования наземных контрольных точек и цифровой модели поверхности земли. Данная точность представлена круговой ошибкой Гео позиционирования при соответствующей доверительной вероятности (Дв). Эта ошибка для снимков спутников Landsat составляет: Landsat-2 < 60 М при 88% Дв; Landsat-5 < 30 М при 99,5% Дв; Landsat-7 < 30 М при 99,7% Дв; Landsat-8 < 30 М при 99,6% Дв.

Наряду со этими, Мандычев А.Н. и другие авторы свои исследования [7] написали, что для остальных исходных данных, используемых при дешифрировании, аналогичная оценка точности Гео позиционирования отсутствует. Минимальная ошибка дешифрирования всех используемых снимков соответствует величине разрешения снимка. Снимки дешифровали с помощью программы ArcGIS Desktop.

При расчётах имеется небольшая погрешность и данные погрешности рассчитываются с помощью подсчёта площади ледника и количества пикселей, на которые показывают границы ледника: если ледник заполняет данный пиксель полностью это 100 точность если меньше, то это считаем ошибки. Таким образом, мы рассчитывали погрешность границ языка ледника РГО.

По данным расчёта границ оледенения за период 1977 погрешность составили ± 20 м, а для других это погрешность составляет ± 15 м.

Для определения причин пульсации ледника необходимо анализировать метеоданные ближайших метеостанций. Поэтому, для описания климатических колебаний использованы данные температуры воздуха и количества осадков с метеорологической станции – Хумраги. [11].

Результаты. Исследование оледенения за период 1977-2019 гг. выявлено, что ледник находится на стадии подвижки. Относительно 1977 года языковая часть ледника РГО подвижка на 118 в 1992 г. (таб. 1), а в 2018 году на 793 м, в 2019 наблюдается стадия отступления на 9 метров по отношению 2018 года.

Таблица 1

Динамика ледника Русская Географическая Общество за период 1977–2019 гг.

Периоды	n	Минимальные значения	Максимальные значения	Средняя величина положения языка ледника относительно 1977 года	Стандартное отклонение
1977-1992	5	62	208	118	63,6
1977-1994	4	103	209	147	43,8
1977-1998	4	94	186	138	33,9
1977-2000	4	102	207	155	36,8
1977-2002	4	114	323	235	62,2
1977-2005	4	337	472	425	33,2
1977-2009	4	722	950	786	116,0
1977-2011	4	621	790	726	45,3
1977-2013	4	607	803	733	49,5
1977-2016	4	620	876	772	73,5
1977-2018	5	554	904	793	78,5
1977-2019	5	534	942	802	99,0

Примечание: n – количество значения, полученных с 1977 года по году наблюдения

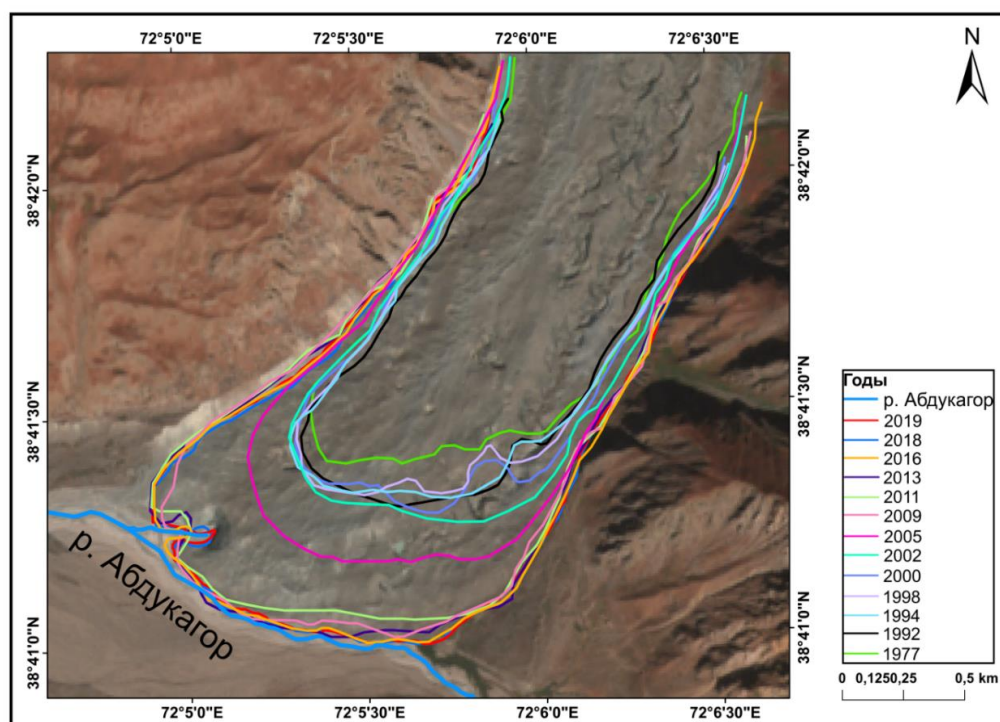


Рис. 2. Границы языка ледника Русское Географическое Общество (РГО) в разные годы

Все значения подвижки языковой линии ледника измерены относительно 1977 года, т.е. получено из одной измерительной точки. Поэтому средняя величина подвижка языка ледника РГО с 1977 года неуклонно возрастала с годами. Например, если в период 1977-1992 гг. эта величина была 118 метров, то в период 1977-2002 гг. составляла 235 метров и с 1977 года по 2019 год достигла 802 метра (таб. 1).

Наглядным примером может служить космический снимок языка ледника РГО (рис. 2). На данной карте хорошо видна положительная подвижка ледника по годам и в последние годы язык ледника находится в долине реки Абдукагор.

Обсуждение. При исследовании изменения климатических данных выявлено, что в данной местности годовое количество осадков уменьшилось на 32,9 мм или на 14% от годового количества осадков (рис. 3). При сравнении температуры воздуха подвижке ледника картина более наглядно показывает их взаимосвязь (рис.4). За период с 2000 по 2019 наблюдается рост температуры воздуха, что согласуется с повторными пульсациями ледника. Поэтому для определения зависимости подвижка ледника РГО от метеорологических условий (атмосферные осадки и температуры воздуха) на рисунках 3 и 4 построили графики подвижка ледника и изменения метеоусловия за периоды наблюдения.

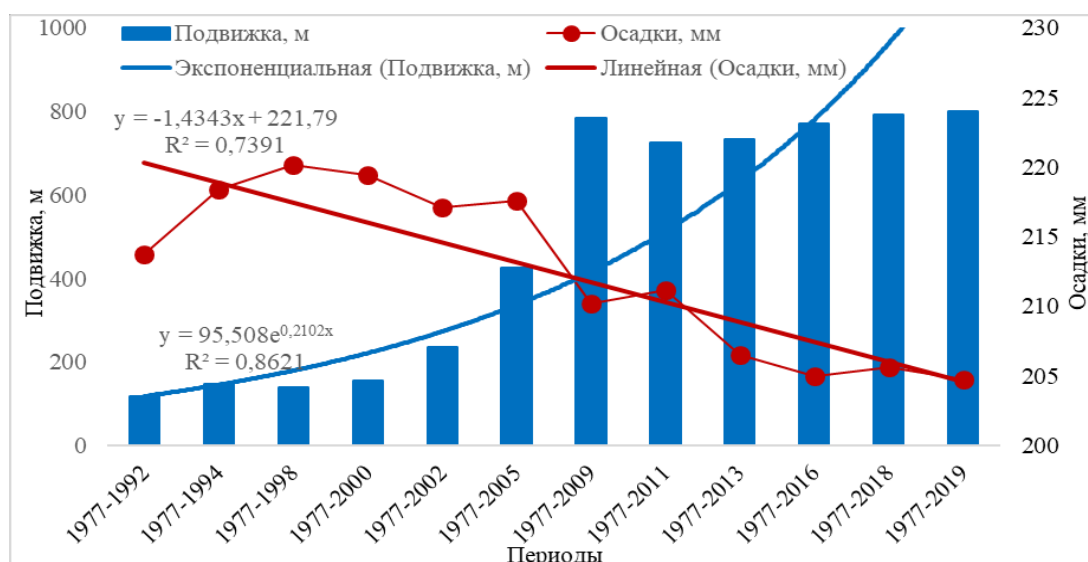


Рис. 3. Сравнение количество осадки с подвижкой ледника за период 1977-2019 гг.

Как ясно из рис. 3 в середине 2000-х параболический тренд изменения осадков сменился на нисходящий линейный. В свою очередь движение языка ледника РГО резко ускорилось (рис. 3) в тот же период. На основании чего можно предположить, что имеет место функциональная связь между этими явлениями.

Рисунок 4 показывает, что за весь период наблюдения с 1977 по 2019 гг. температура воздуха и подвижка языка ледника имеют тенденцию к значительному увеличению. Тенденция увеличения для обеих значениях составляются 0,6679 и 0,8616 относительно. Хотя детальное описание механизма этой связи требует дальнейшего детального изучения, что выходит за рамки данной статьи. Положительная связь между движением языка ледника и ростом температуры явно видна при визуальном сопоставлении, как самих данных, так и их трендов (рис. 4).

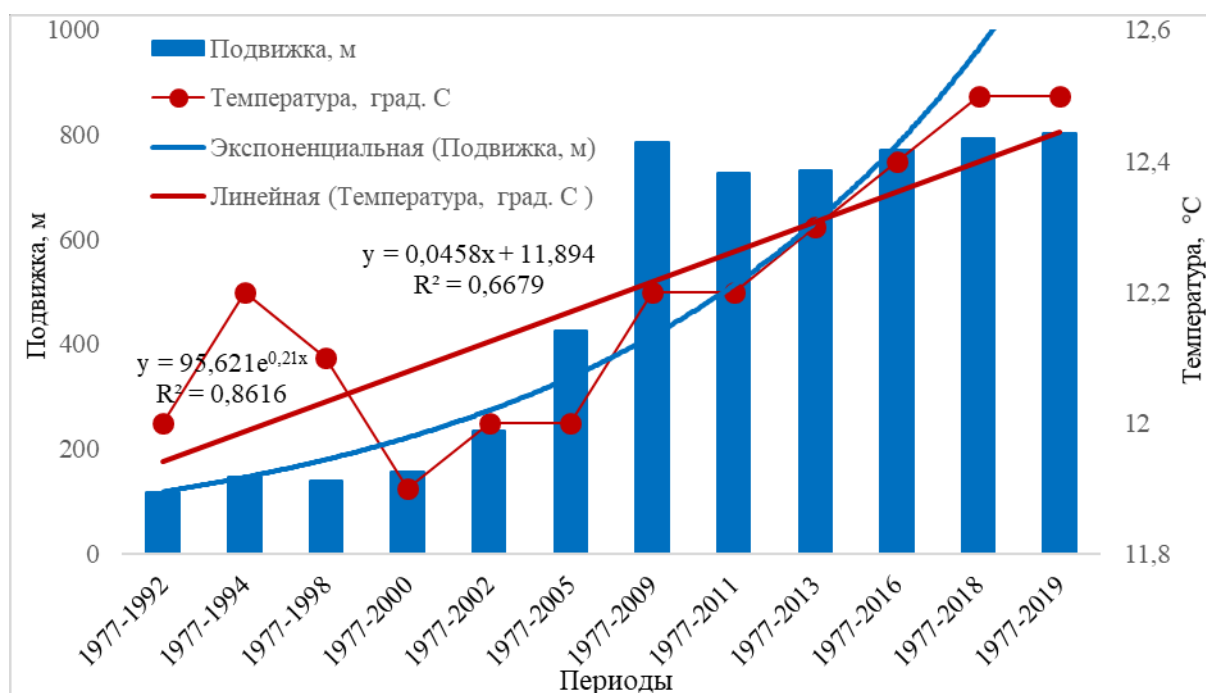


Рис. 4. Сравнение подвижки ледника с температурой воздуха за период 1977-2019 гг.

Таким образом, за 42 года наблюдений язык ледника постоянно находится на стадии «продвижение вниз по склону» и в 2018 достиг самой низкой отметки. Ледник РГО имеет дендритный характер и при створе данного ледника существует еще 5-6 ледников, которые в свою очередь также имеют свойства пульсации. Хотя динамика данных ледников на сегодняшний день плохо изучена, мы считаем, что именно пульсация этих ледников-притоков является определяющей в динамике главного ледника.

Выводы. К 2019 году нижняя граница языка ледника РГО продвинулась вниз по склону в среднем на 486 метров относительно отметки 1977 года. Скорость подвижки увеличилось после 2000 года и только за последние десять лет в пять раз, что привело к перекрытию русла реки Абдукагор.

Многолетние наблюдения за подвижками языковой части ледника и анализ метеоданных ближайшей метеостанции – Хумроги за 1977-2019 гг. показывают, что подвижка ледника РГО тесно связана с колебаниями температуры. Ибо, наблюдения за атмосферными осадками в районе ледника показывают, что, изменения формы их многолетних трендов осадков совпадают по времени с изменением интенсивности движение языка ледника РГО.

Список литературы

1. Десинов Л.В., Коновалов В.Г. Дистанционный мониторинг многолетнего режима оледенения Памира / Материалы гляциологических исследований // Институт географии РАН, 2007. – №103. – С.129-133.
2. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Ледники. – М., Мысль, 1989. – 447 с.
3. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Пульсирующие ледники. – Л., Гидрометиздат, 1982. – 192 с.
4. Дробышев В.Н. Гляциальная катастрофа Северной Осетии 20 сентября 2002 года / Устойчивое Развитие: Экология, Экономика, Социальные Отношения // Вестник Владикавказского научного центра, 2012. – Т.12. – №3. – С.20-36.

5. Забиров Р.Д. Оледенение Памира. – М.: Географгиз, 1955. – 372 с.
6. Котяков В.М., Десинов Л.В., Осипова Г.Б., Хаузер М., Цветков Д.Г., Шнайдер Ж.Ф. События 2002 года на леднике Географического общества (РГО), Памир // Материалы гляциологических исследований, Вып.95.
7. Мандычев А.Н., Усубалиев Р.А., Азисов Э.А. Изменения ледника Абрамова (Алайский хребет) с 1850 по 2014 г. // Лёд и Снег, 2017. – Т.57. – №3. – С.326-333.
8. Наука для меняющегося мира. Геологическая служба США // URL: <https://www.usgs.gov/>
9. Носенко Г.А., Рототаева О.В., Никитин С.А. Особенности изменений ледника Колка с 2002 по 2016 г. // Лёд и Снег, 2017 – Т.57. – №4. – С.468-482.
10. Осипова Г.Б., Цветков Д.Г., Щетинников А.С., Рудак М.С. Каталог пульсирующих ледников Памира // Материалы гляциологических исследований. – М., 1998. – Вып.85. – С.3-136.
11. ТМС-84 Метеорологической станции Хумроги за период 1955-2019 гг. // Архивные данные Агентство по гидрометеорологии Республики Таджикистан (дата обращения: декабрь 2019 г. – январь 2020 г.).

F. K. Vosidov¹, N. B. Kurbonov^{2,3}, A. V. Mitusov⁴, A. M. Khalimov¹

¹ Glacier Research Center of the National Academy of Sciences
of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

² Tajik National University, Dushanbe, Tajikistan

³ Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences
of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

⁴ Kazakh-German University, Almaty, Kazakhstan
E-mail: knomvarb.0502@gmail.com

REMOTE MONITORING OF THE GLACIER MOVEMENT OF THE RUSSIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

This article covers the time period from 1977 to 2019. The results obtained indicate that the tongue of the RGS glacier for the period 1977-1992 is at the stage of movement. Relative to 1977, the lingual part of this glacier retreated by 118 m in 1992, and in 2018 by 793 m. In 2019, the RGS glacier retreated by 9 meters relative to 2018. In 2009, 2011, 2013, 2016, 2018 and 2019, his tongue actively advanced, blocking the channel of the Abdukagor River. Because of what the river changed its course in the valley.

The pulsation of the RGS glacier is explained by the dynamics of air temperature and the accumulation of weight with an increase in atmospheric precipitation or melting of snowfields. This is confirmed by climatic data showing that in this area the annual precipitation has decreased by 14%, and the annual air temperature has increased by 0.8°C.

Keywords: remote sensing, Landsat, Sentinel, climate change, glacier movement, Russian Geographical Society.