

УДК 913.1/913.8

## ПОДВИЖКИ ЛЕДНИКОВ ПАМИРА В ПЕРВЫЕ 20 ЛЕТ XXI ВЕКА

© 2020 г. Академик РАН В. М. Котляков<sup>1,\*</sup>, Л. В. Десинов<sup>1</sup>, С. Л. Десинов<sup>1</sup>, В. А. Рудаков<sup>1</sup>

Поступило 27.08.2020 г.

После доработки 31.08.2020 г.

Принято к публикации 04.09.2020 г.

Исследована активизация пульсирующих ледников Памира за последние 20 лет. Подвижки ледников здесь произошли в бассейнах рек Сурхоб, Муксу, Сауксай, Сельдара (включая систему ледника Федченко), Обихингоу, Ванч. Пульсационные процессы выявлены на 48 ледниках на фоне общего сокращения оледенения под влиянием глобального потепления. Показаны особенности активизации ледников, развития пульсационных процессов и их завершения. Не выявлено явной связи пульсаций с сейсмическими событиями, за исключением трех случаев, когда землетрясения вызвали обвалы горных пород, которые могли стать причиной активизации ледников.

*Ключевые слова:* пульсирующий ледник, фронт активизации, активная фаза, речной бассейн, подвижка, язык ледника, мониторинг, космический снимок

**DOI:** 10.31857/S2686739720110080

Пульсирующие ледники отличаются от обычных тем, что у них периодически, через близкие по длительности временные интервалы (неодинаковые для разных ледников) медленное движение льда сменяется ускоренным. Подвижки ледников не связаны с землетрясениями и климатическими флуктуациями. Они вызваны динамическими процессами в самом леднике. Большинство пульсаций ледников происходит вдали от населенных пунктов в глубине горных долин, не создавая угрозы людям и инфраструктуре. Но в отдельных случаях при перекрытии боковых долин и ущелий могут возникать озера, прорыв которых через ледяную плотину создает катастрофическую ситуацию. 40 лет назад первые пульсирующие ледники были обнаружены и изучены именно на Памире, были установлены главные закономерности их эволюции и систематизированы индикационные признаки [1]. К началу третьего десятилетия XXI века пришла пора актуализировать данные о динамически нестабильных ледниках Памира.

Известно около шестидесяти признаков пульсационных изменений ледников. Многие из них можно обнаружить только при полевых обследованиях с применением беспилотных летательных аппаратов или при визуальных наблюдениях с борта вертолета. Однако некоторые признаки

ледниковых подвижек проявляются очень ярко, и их видно на космических фотоснимках высокого и среднего уровней разрешения. Правда, такая работа требует высокой профессиональной подготовки и опыта наземных исследований.

Наземные методы сбора данных о пульсирующих ледниках ограничены труднодоступностью высоких гор. А в последние годы это усложняется еще и тем, что в высокогорье Памира полностью ликвидированы стационарные пункты наблюдений и измерений. В 70-х и 80-х годах XX века Памир служил тестовым полигоном, где научные сотрудники Института географии РАН регулярно выполняли синхронные наземно-воздушно-космические исследования пульсирующих ледников, которые легли в основу разработки Инструкции по их каталогизации [1].

Возможности космического мониторинга обширны. Для этого используются десятки типов спутников ДЗЗ, а в Институте географии РАН — головной организации России по применению материалов фотосъемок с борта Международной космической станции для изучения природной среды — основной акцент сделан на привлечение космонавтов к этой научной задаче.

Цель этой работы заключается в выявлении и систематизации ледниковых подвижек, произошедших в горах Памира за последние 20 лет. Подчеркнем, что подобные исследования не проводились ни таджикской национальной службой мониторинга ледников, ни иными зарубежными

<sup>1</sup> Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

\*E-mail: vladkot4@gmail.com

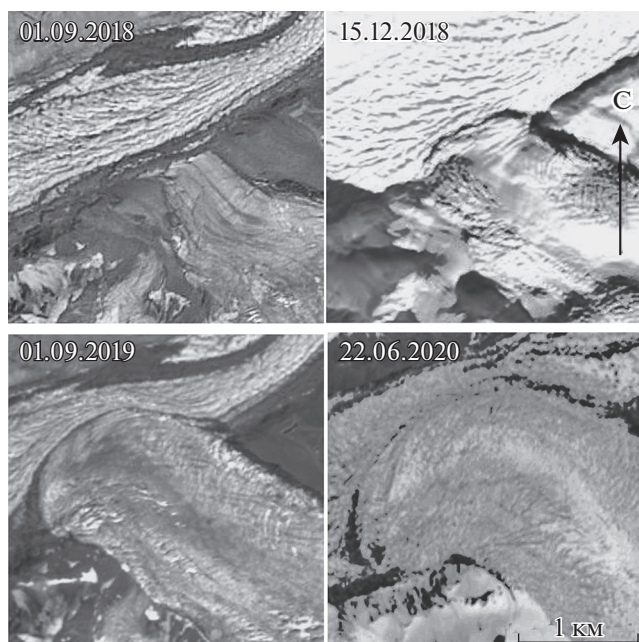


Рис. 1. Подвижка ледника Дороевеев в бассейне р. Обихингоу.

научными учреждениями или их отдельными представителями.

В работе использованы фотоснимки, сделанные с высоты около 400 км космонавтами за

63 длительные экспедиции на МКС с января 2001 г. по август 2020 г. Как правило, для анализа отбирались изображения с детальностью не хуже 5 м, полученные в натуральных цветах при выполнении целевых программ визуального обнаружения и фотосъемки динамически нестабильных ледников Памира. Дополнительно привлекались фотоснимки из поисковой информационной системы Google и из ресурсов космических снимков Sentinel и Planet.com с разрешением на местности соответственно 12 м и 2–5 м. Все измерения выполнены с использованием топографической карты масштаба 1 : 50000 и ГИС-программы GlobalMapper. Пример подбора разновременных снимков ледника Дороевеев и получения информации о его динамике показан на рис. 1. Названия и номера ледников Памира даются в соответствии с данными каталога [2], в котором они отнесены к речным бассейнам.

Анализ использованных данных позволил получить результаты по 48 ледникам шести гидрологических бассейнов, представленных в табл. 1. Основные изменения в динамике ледников выявлены по результатам сравнения с данными исследований 1970–80-х годов, которые в наиболее полном виде представлены в работе [3]. Несколько пульсаций ледников изучены с учетом научной информации, приведенной в работах [4–8].

В западной части хребта Петра Первого в бассейне р. Сурхоб преобладают простые долинные

Таблица 1. Количество подвижек ледников Памира в 2001–2020 гг.

| Характер подвижки                                      |                | Ранее известные подвижки |    |   |    | Длительность периодов пульсации, лет |     |       |     | Подвижки с перекрытием долин | Подвижки от обвала горных пород |
|--|----------------|--------------------------|----|---|----|--------------------------------------|-----|-------|-----|------------------------------|---------------------------------|
| наступление фронта                                     | внутри контура | 0                        | 1  | 2 | >2 | не известно                          | ≤10 | 11–30 | >30 |                              |                                 |
| Бассейн р. Сурхоб                                      |                |                          |    |   |    |                                      |     |       |     |                              |                                 |
| 5  | 1              | 4                        | 1  |   | 1  | 4                                    |     |       | 2   |                              | 2                               |
| Бассейн р. Муксу                                       |                |                          |    |   |    |                                      |     |       |     |                              |                                 |
| 6  | 9              | 5                        | 8  |   | 2  | 4                                    |     | 5     | 5   |                              |                                 |
| Бассейн р. Сельдара                                    |                |                          |    |   |    |                                      |     |       |     |                              |                                 |
| 4  |                | 3                        | 1  |   |    | 3                                    |     | 1     |     | 1                            |                                 |
| Бассейн р. Сауксай                                     |                |                          |    |   |    |                                      |     |       |     |                              |                                 |
| 14   |                | 5                        | 7  | 2 |    | 6                                    | 1   | 6     | 1   |                              |                                 |
| Бассейн р. Обихингоу                                   |                |                          |    |   |    |                                      |     |       |     |                              |                                 |
| 7  |                | 2                        | 2  | 2 | 1  | 1                                    | 1   | 3     | 2   | 2                            |                                 |
| Бассейн р. Ванч  |                |                          |    |   |    |                                      |     |       |     |                              |                                 |
| 1  | 1              | 1                        |    |   | 1  | 1                                    | 2*  | 4*    |     | 2                            | 1                               |
| Суммарно по ледникам шести вышеназванных бассейнов рек |                |                          |    |   |    |                                      |     |       |     |                              |                                 |
| 37   | 11             | 20                       | 19 | 4 | 5  | 19                                   | 4   | 19    | 10  | 5                            | 3                               |

Примечание. \*Известно 6 периодов пульсаций ледника Медвежьего.

ледники небольших размеров, залегающие на крутых склонах. Помимо обычных твердых осадков, они получают обильное лавинное питание, а иногда с северного склона хребта в их области питания обрушиваются горные породы. Именно этот участок хребта Петра Первого встает первым барьером на пути западных и северо-западных вторжений холодных воздушных масс, которые продуцируют обильные осадки. За год здесь выпадает нередко больше 2000 мм. Несколько ледников лежат не на днище долины, а на своем моренном “пьедестале”, круто свисая с него окончаниями языков.

На ледниках № 501 и 503 в 2017–2019 гг. произошли так называемые внутренние подвижки, при которых волны активизации не вышли за пределы их языков. В обоих случаях основной причиной развития пульсации стали обвалы горных пород с крутых северных склонов хребта (табл. 1), а в трех случаях причиной этих обвалов (табл. 2) могли стать землетрясения [9]. Заметим, что, по нашей оценке, такие сейсмические поверхностные или вертикальные волны, как правило, не оказывают влияния на динамику ледников. Другое дело — нагружение горными породами областей оттока ледников, что приводит к формированию релаксационных волн активности, одной или нескольких, которые проходят по языку ледника.

А самый крупный ледник этой группы, известный под названием Дидаль, был одним из первых пульсирующих ледников, на котором изучались признаки подвижек. Две его предыдущие подвижки, следовавшие с периодом 32 и 42 года, сопровождалась отрывом части ледника и ее обвалом в направлении р. Сурхоб. В последнем же случае, с июня 2015 г. по июнь 2016 г. длина ледника возросла почти на 50%, но язык сохранил свою целостность. В подвижке, которая произошла через 45 лет после предыдущей, существенную роль сыграли обильные порции лавинного снега, возможно, продуцированные сейсмическими событиями.

Гораздо реже наступали ледники № 504, 505 и 506. Они обрушились в направлении р. Сурхоб большое количество льда, воды и камней, и некоторые потоки достигли окраины г. Таджикобод.

*Ледники бассейна р. 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.

За 20 лет наблюдений получены данные о движении ледников при пульсациях и об их внутренних подвижках (см. табл. 1). Из 15 изученных

ледников у десяти из них имеются сведения о более ранних пульсациях с длительностью периодов подвижек от 11 до 30 лет. Именно здесь отмечены два самых крупных на Памире продвижения фронта наступающих ледников: Музгазы (Ошанина) в 2011 г. на 5.76 км и Сугран в 2005 г. на 4.5 км [4]. Периоды подвижек не превышают 43 года. У четырех ледников пульсации активно развиваются и в летний период 2020 г.

*Ледники бассейна р. Сельдара* представляют собой самый крупный район оледенения в горах Памира: здесь пульсирующие ледники превышают в длину 10 км, а ледник Бивачный протяженностью более 30 км состоит из 15 отдельных потоков. Осадки на высотах от 3480 до 5800 м выпадают в основном в твердом виде, а их общее количество превышает 2000 мм/год. Нижняя часть языка ледника Бивачный к 2007 г. на протяжении более 7 км омертвела [5], а к 2014 г. в результате очередной пульсации стала активной и продвинулась к леднику Федченко. Кинематические волны в верхних областях всех ветвей ледника периодически активизируются и снова замирают, так что в зоне слияния 15 независимых потоков льда постоянно происходят динамические изменения — подвижки или восстановления, сменяя друг друга.

Три другие ледника этого бассейна практически лишены моренного покрова, в стадию подвижки длительностью не менее 4 лет по ним прокатывается несколько волн активизации, расстояние между которыми сокращается даже с началом движения фронта ледника.

*В бассейне р. Сауксай*, где находится еще один пик-семи тысячник, подвижки ледников за последние 20 лет проявились у 14 ледников, а ранее здесь было известно девять ледниковых пульсаций. Длительность периодов подвижек, как правило, не превышает 36 лет. В этом бассейне находятся объекты первых тестовых исследований пульсаций ледников Памира — ледники Вали, Держинского, Малый Саукдара, которые по прошествии соответственно 25, 26 и 36 лет вновь продвинулись до р. Сауксай. Яркой особенностью этих подвижек, а также наступания ледников № 234 и 244 (Красина) служит растекание фронтальных частей их языков в виде “лап”. Отметим и большое приращение длины трех ледников (№ 204, Чакманташ и Малый Саукдара), превышающее 2200 м, а также проявление серии волн активизации.

*Ледники бассейна р. Обихингоу* находятся на пути основных воздушных масс южного и юго-западного направлений, дающих интенсивные осадки в обширном высотном поясе гор, в диапазоне от 3000 до 6260 м. В областях аккумуляции ледников этого района на высотах более 4200 м ежегодно выпадает не менее 2200 мм осадков.

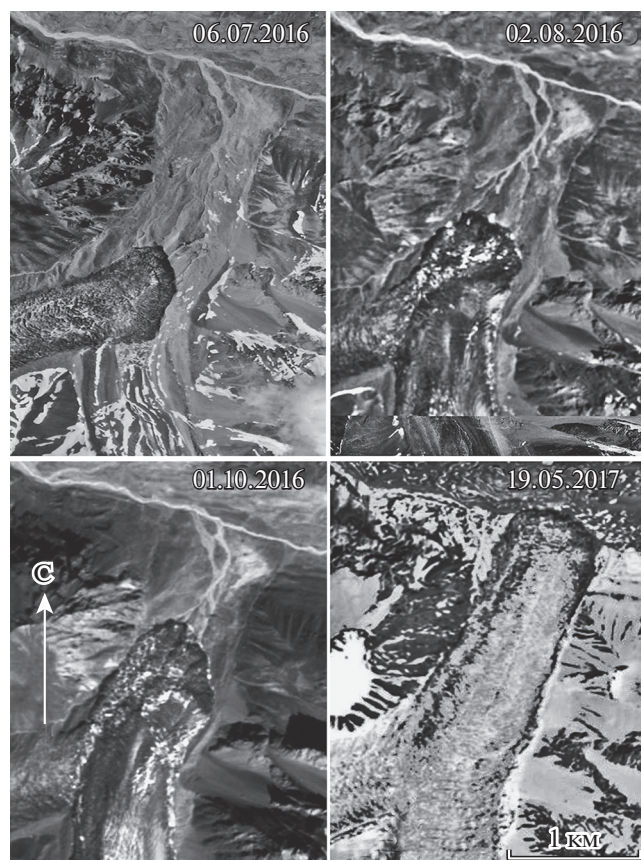


Рис. 2. Подвижка ледников № 85 и 88 в бассейне р. Обихингоу.

Благоприятная ориентация склонов обеспечивает наилучшие условия питания ледников.

20-летний космический мониторинг в бассейне р. Обихингоу позволил установить целый ряд выразительных признаков подвижек ледников: большие перепады высот в зоне оттока и на языке ледника, обвалы льда через береговые морены, существенные изменения в скорости движения льда, наползание одних частей ледника на другие с дальнейшим совместным продвижением их языков (рис. 2), прохождение выразительных валов вспучивания с превращением ровной поверхности в бугристо-глыбовую, создание крутых лобовых обрывов и крупных продольных разрывов вдоль бортов, формирование прибортовых зон дробления. А в тыловой части ледников возникают поперечные разрывы и сбросовые структуры. В первые годы стадии восстановления лед во фронтальной части подвижки быстро вытаскивает, и ледники отступают на прежнюю позицию. Как правило, “лапы” фронтов подвижек достигают главных долин, а порою их перекрывают. Вместе с тем за годы наблюдений здесь не обнаружено напорных озер.

Ледники бассейна р. Ванч проявили за последние 20 лет свои яркие динамические особенности всего на двух объектах — ледниках РГО и Медвежий. Первый из них заметно активизировался в области обрушения на его язык горных пород с правого склона первого левого крупного притока. Значительная масса камней вызвала активизацию средней и лежащей ниже частей ледника и небольшое выдвигание фронта подвижки в долину реки. Это событие нашло отражение в работах [6, 7].

Ледник Медвежий — самый известный пульсирующий ледник мира. Его подвижки происходят регулярно с периодичностью 10–16 лет и многократно описаны. К числу последних исследований относится работа [8]. Важным результатом мониторинга 2020 г. служит обнаружение признаков новой подвижки: ниже ледопада замечено яркое валообразное дуговое вспучивание льда. За первую половину лета 2020 г. оно продвинулось от ледопада на расстояние более 150 м. Этот факт дает основание сосредоточить усилия на данном объекте, чтобы своевременно спрогнозировать очередную подвижку ледника Медвежьего.

Приведенная информация демонстрирует высокую эффективность дистанционного метода изучения ледников и показывает необходимость их космического мониторинга на территории высокогорного Памира.

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках Госзадания АААА-А19-119022190168-8.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по составлению каталога пульсирующих ледников СССР // Материалы гляциол. исследований. 1982. Вып. 44. С. 208–234.
2. Каталог ледников СССР. Т. 14, Средняя Азия. Вып. 3. Части 6, 7, 8, 8а, 9, 11. Л.: Гидрометеоздат, 1968–1978.
3. Десинов Л.В., Рототаев К.П. Карта “Пульсирующие ледники Памира”. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. М.: РАН, 1997. С. 147.
4. Котляков В.М., Осипова Г.Б., Цветков Д.Г. Космический мониторинг пульсирующих ледников Памира // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 4. С. 74–83.
5. Котляков В.М., Десинов Л.В., Рудаков В.А. Подвижка ледника Бивачного в 2012–2015 годах // Лед и Снег. 2015. № 2 (130). С. 133–140.
6. Котляков В.М., Десинов Л.В., Осипова Г.Б., Хаузер М., Цветков Д.Г., Шнайдер Ж.Ф. События 2002 года на леднике Русского географического общества (РГО), Памир // Материалы гляциол. исследований. 2003. Вып. 95. С. 221–230.
7. Коновалов В.Г., Рудаков В.А. Возможности использования данных дистанционного зондирования Земли

- для мониторинга ледников и гляциологических расчетов // Лед и Снег. 2015. № 1 (129). С. 15–27.
8. Десинов Л.В., Котляков В.М., Осипова Г.Б., Цветков Д.Г. // Снова дал знать о себе ледник Медвежий // Материалы гляциол. исследований. 2001. Вып. 91. С. 249–253.
9. USGS Earthquake Hazards Program <http://hikersonline.com/asia/tajikistan?lang=ru>

## MOVEMENT OF THE PAMIR GLACIERS IN THE FIRST 20 YEARS OF THE XXI CENTURY

Academician RAS V. M. Kotlyakov<sup>a,#</sup>, L. V. Desinov<sup>a</sup>, S. L. Desinov<sup>a</sup>, and V. A. Rudakov<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>#</sup>E-mail: vladkot4@gmail.com

The activation of surging glaciers in the Pamirs over the past 20 years has been studied. Glacier surges occurred in the basins of the Surkhob, Muksu, Sauksai, Seldara (including the Fedchenko Glacier system), Obihingou, and Vanch rivers. Surge processes were detected on 48 glaciers against the background of a general glacier retreat under the influence of global warming. Features of glacier activation, development of pulsation processes and their completion are shown. There was no clear association of surges with seismic events, with the exception of three cases when earthquakes caused rock collapses that could have caused glaciers to activate.

*Keywords:* surging glacier, front of growing activity, active phase, river basin, surge, glacier tongue, monitoring, space image