

# Экспресс-информация

УДК 551.324.65

doi:10.15356/2076-6734-2015-2-133-140

## Подвижка ледника Бивачного в 2012–2015 гг.

© 2015 г. В.М. Котляков, Л.В. Десинов, В.А. Рудаков

Институт географии РАН, Москва  
vladkot6@gmail.com

## Surge of the Bivachny Glacier in 2012–2015

V.M. Kotlyakov, L.V. Desinov, V.A. Rudakov

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow

*Статья принята к печати 31 марта 2015 г.**Космический снимок, ледник Бивачный, морена, подвижка ледника.  
Bivachny Glacier, glacier surge, moraine, space image.*

На основе фотосъёмки, выполненной в 2001–2015 гг. с борта Международной космической станции, и данных космического мониторинга 1972–2000 гг. анализируется подвижка ледника Бивачный на Памире, произошедшая в 2007–2015 гг., через 31 год после подвижки этого ледника в 1972–1976 гг. Показаны динамика многочисленных ветвей ледника и взаимные влияния разных потоков, вызвавшие активизацию нижней части главного ледника – мёртвой зоны протяжённостью более 7 км. Фронт пульсации в своём движении перед остановкой достиг основного ствола ледника Федченко.

The surge of the Bivachny Glacier that occurred in 2012–2015 is analyzed with the use of photographing performed from International Space Station in 2001–2015 together with data of the satellite monitoring of 1972–2000. This surge happened in 31 years after the similar previous event of 1972–1976. Dynamics of numerous glacier branches causing activation of the lower glacier part that is so called “dead” zone (more than 7 km in length) is shown. Just before its stop the front part of the surging glacier had reached the main trunk of the Fedchenko Glacier.

### Введение

Ледник Бивачный расположен в горах Памира, в бассейне р. Муксу, на территории Республики Таджикистан. Его длина – 30 км, а площадь – более 165 км<sup>2</sup>. Ледник Бивачный служит главным притоком одного из крупнейших в Евразии ледника Федченко длиной 77 км. Основные данные об этих ледниках приведены в Каталоге ледников СССР [2]. Они были даны по материалам Международного геофизического года (1957–1958 гг.) с использованием информации, полученной в 1928–1933 гг. советскими и немецкими учёными в Таджикско-Памирской экспедиции АН СССР, и первых сведений о леднике Бивачном Н.И. Косиненко, открывшем его в 1908 г.

В 1940 г. ледник Бивачный был пройден до гребня хр. Академии Наук научно-спортивной экспедицией из г. Одесса во главе с А.В. Блещуновым, который дал хорошее описание ледника. Опубликованная участником этой экспедиции В.С. Яценко книга «В горах Памира» [7] даёт подробное описание морфологических

особенностей ледника и сопровождается многочисленными фотографиями.

Яркая особенность ледника Бивачного – высокая динамичность всех его потоков. Как правило, один из них, два или несколько находятся фактически в состоянии подвижки. Пульсации ветвей угасают на главном теле ледника Бивачного, не достигая ледника Федченко. Вместе с тем Н.Л. Корженевский [3] отмечал, что в 1927 г. ледник Бивачный активно воздействовал на ледник Федченко. Следующая пульсация ледника произошла в 1958 г. В то время в зоне контакта ледников уже существовала зона мёртвых льдов. В 1969 г. мы обследовали ледник Бивачный от гребня хр. Академии Наук до места впадения в ледник Федченко. Удалось установить, что нижняя часть языка ледника Бивачный протяжённостью около 4 км представляла собой омертвевшую область с термокарстовым рельефом. Глубина отдельных воронок достигала 30 м, а некоторые воронки были заполнены водой. В последующие годы вдоль обоих бортов возникали озёра.

### Наблюдения за ледником Бивачным с борта Международной космической станции

Начиная с 1969 г. под руководством Института географии РАН периодически выполнялись наземные, воздушные и космические съёмки ледника Бивачный. В 1974 г. ледник стал главным объектом программы визуально-инструментальных исследований отечественной пилотируемой космонавтики, что объяснялось исключительной выразительностью морфологии поверхности ледника. С самолета ТУ-134 его наблюдали все космонавты, а во время полётов они без биноклей и с помощью разных оптических приборов искали самые мелкие различные элементы на языке ледника и его притоках, чтобы установить возможности зрительного анализа человеком динамики ледника при длительном пребывании в условиях невесомости.

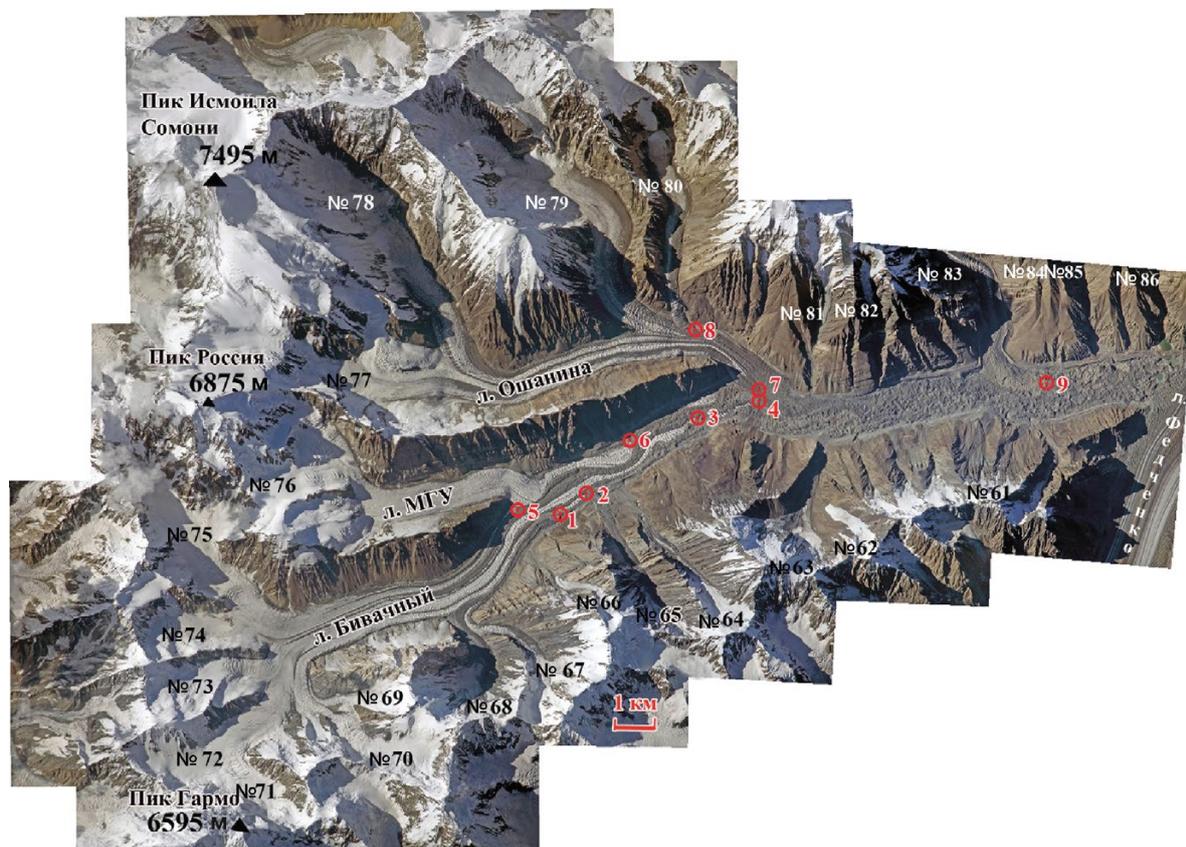
В мае 1977 г. в работе [1] мы опубликовали первые результаты изучения динамической нестабильности ледника Бивачного, его притоков и некоторых соседних ледников. Подробно рассмотрена подвижка 1972–1976 гг., во время которой ярко проявилось изменение рисунка всех петлевидных моренных гряд, их последовательного сжатия и растяжения, вовлечение в подвижку некоторых притоков и отрыв нижней части ледника № 65. Были показаны места срезания лавинных конусов выноса и образование останцов льда на склонах. Впервые на практике был применён разработанный метод измерения на космических снимках скорости перемещения отдельных точек на поверхности языка ледника относительно контрольных створов. Информация об этой подвижке ледника Бивачного изложена в работе Г.Б. Осиповой и Д.Г. Цветкова [5]. Они привели сведения о скорости движения льда по продольному профилю и взаимодействию притоков с основным стволом. По данным наших коллег, пульсация утасла в 1978 г. Позднее они дополнили сведения об этом событии и, что весьма важно, показали схемы взаимодействия одного из главных притоков с основным стволом ледника Бивачного на разных этапах подвижки [6].

Дистанционные исследования ледника Бивачного в 1970-х годах сыграли важную роль в разработке методик дешифрирования подвижек ледников по материалам космической съёмки и оказались востребованы при создании Инструкции по составлению Каталога пульсирующих ледников СССР [4].

После 1976 г. многие сотни снимков были получены с отечественных орбитальных станций, а с 2001 г. ледник регулярно фотографируется с российского сегмента МКС в рамках программы «Ураган». За 15 лет космонавты сделали более 120 фотоснимков ледника, что позволило следить за изменениями морфологии его поверхности. Установлено, что с 1978 по 2007 г. зона мёртвого льда увеличилась до 7 км. С учётом накопленных к тому времени сведений о сокращении всего гляциального комплекса Памира активизация нижней зоны языка ледника Бивачного казалась маловероятной. Однако к сентябрю 2014 г. фронт активизации ледника Бивачного прошёл эти 7 км и достиг ледника Федченко.

Обратимся к рис. 1 – фотопанораме ледника Бивачного, составленной из нескольких космических снимков 2007 г. с разрешением на местности около 3 м. При съёмке фрагментов земной поверхности с борта МКС получают, как правило, перспективные изображения, обработка которых с помощью обычных программных продуктов ГИС-технологий весьма трудоёмка. Согласно нашему опыту, для этих целей оптимальна относительно простая универсальная программа Global Mapper, которая даёт возможность просматривать, конвертировать, преобразовывать и редактировать карты, космические и аэрофотоснимки в векторном и растровом форматах. Снимки и карты загружаются в виде слоёв, которые могут быть просмотрены в любом сочетании. В этой программе создают 3D-образы космических ландшафтов и измеряют криволинейные линии и площадные объекты. Программа Global Mapper поддерживает и конвертирует многие форматы ГИС-программ, например Erdas Imagine.

Рис. 2 демонстрирует элемент технологии совмещения и анализа в разных сочетаниях разновременных космических снимков (слоёв), которые представлены в левой части иллюстрации (всего 13 изображений). В данном примере выбраны фото, полученные 31 августа 2007 г. и 30 августа 2014 г. Оба слоя могут быть в полупрозрачном виде наложены один на другой и совмещены. На рис. 2 легко заметить линию раздела обоих изображений. Для измерения перемещения фронтальной части потока ветвей № 71/72 нанесена ломаная линия, которая соединяет крайние точки расположения двух контуров на выбранные даты мониторинга. Так как снимки совмещены с топографической



**Рис. 1.** Ледник Бивачный 31 августа 2007 г. Фотомонтаж из многих снимков, сделанных с борта российского сегмента Международной космической станции.

Цифрами отмечены ледник Бивачный (его исток № 75), его притоки и ледники склонов. Точки 1–9 – положение фронтальных частей главного ствола и отдельных ветвей ледника Бивачного

**Fig. 1.** The Bivachny Glacier on August 31, 1997. Composite photograph made from many pictures received from board of the Russian segment of the International Space Station.

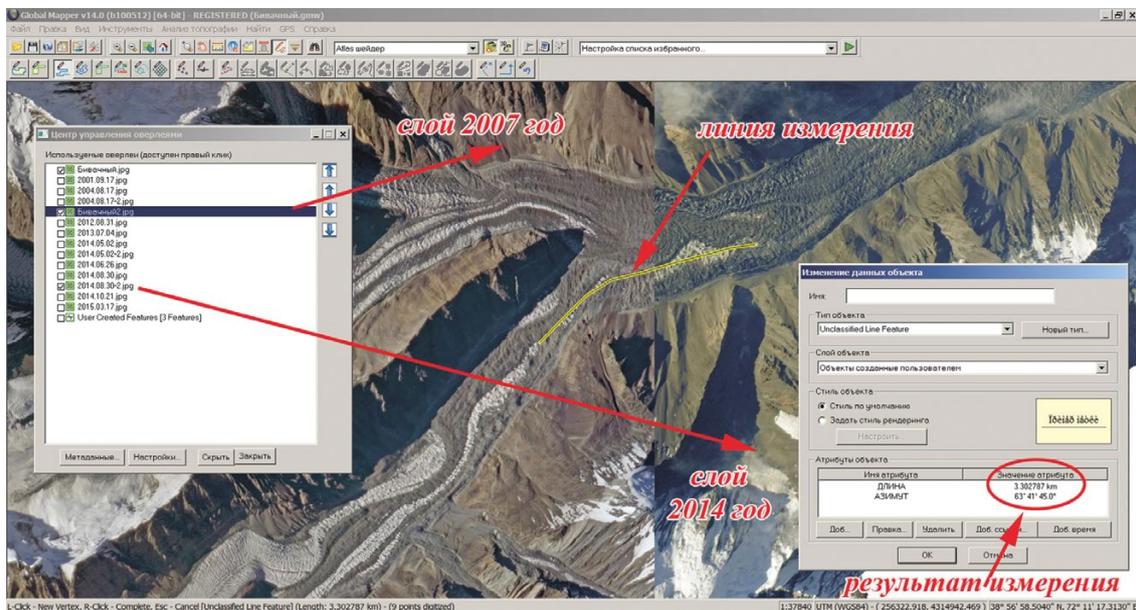
Ciphers indicate the glacier (№ 75), its tributaries and glaciers on slopes. Points 1–9 are positions of front parts of the main trunk and individual branches of the Bivachny Glacier

картой, автоматическое интегрирование всех пикселей, из которых составлена линия, даёт искомый результат. В правой части рис. 2 выведено значение атрибута – 3303 км, которое откорректировано с учётом всех неточностей и принято равным 3310 м. Заметим, что следующая съёмка проведена 21 октября 2014 г. Аналогичные измерения показали, что фронтальная часть этого потока переместилась дополнительно на 200 м.

На рис. 3 показано совмещение космического цифрового фотоснимка ледника Бивачного с топокартой масштаба 1 : 50 000. Программа Global Mapper позволяет «разогнать» растровое изображение карты до такого вида, при котором в одном пикселе окажется 3 м горного ландшафта, что соответствует фотоснимку с разрешением на местности также 3 м.

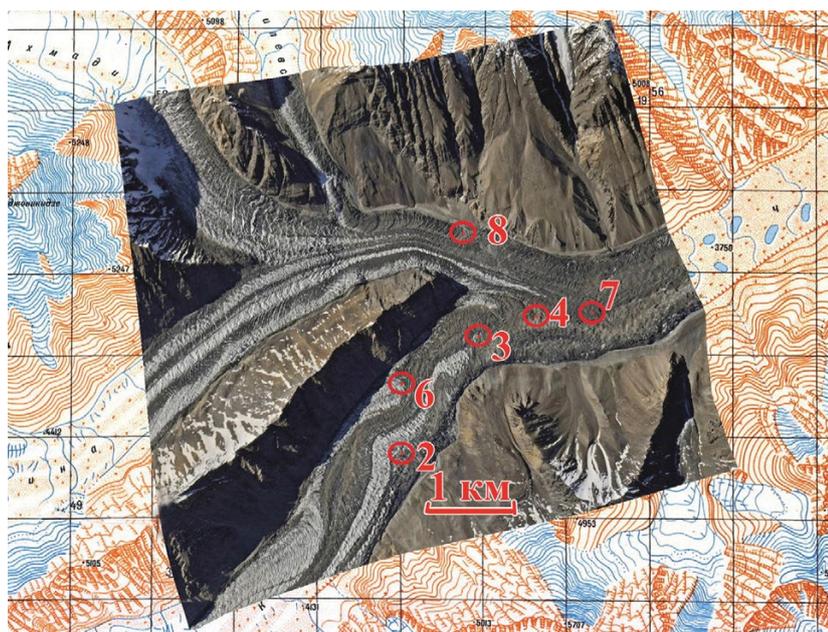
### Подвижки ветвей ледника Бивачного в 2007–2014 гг.

На рис. 1 зафиксировано состояние ледника, когда в его средней части ситуация с взаимным оттеснением потоков аналогична сложившейся к 1978 г. Исключение составляет ледник № 80, который в то время не был притоком ледника Бивачного, а нависал над языком главного ствола, отделяясь от него ледопадом. Движение фронтальной части этого ледника началось в 2001 г. За три года ледник преодолел ледопад, продвинувшись на 310 м, и начал контактировать с ледниковой ветвью № 79. За последующие три года он прошёл путь в 350 м и стал продвигаться по поверхности этой ветви. В 2007–2012 гг. бывший приток № 80, а теперь



**Рис. 2.** Фрагмент технологии обработки космических снимков в программе Global Mapper на примере фотоизображений ледника Бивачного, полученных 31 августа 2007 г. и 30 августа 2014 г.

слева – перечень слоёв (космических снимков); справа – результат измерения перемещения одной из контрольных точек  
**Fig. 2.** A fragment of the space picture processing by the Global Mapper software by the example of photographs of the Bivachny Glacier obtained on August 31, 2007 and on August 30, 2014.  
 In the left part is a list of layers (space pictures); in the right part is the result of measuring of displacement of one of control points



**Рис. 3.** Результат трансформирования перспективного космического снимка средней части ледника Бивачного, полученного с Международной космической станции 4 июля 2013 г., и наложения его на топографическую карту масштаба 1 : 50 000

**Fig. 3.** Result of transformation of a perspective space picture of a middle part of the Bivachny Glacier obtained from International Space Station on July 4, 2013 and of superposition of this picture onto a topographic map with scale 1 : 50 000

уже часть одной из ветвей ледника Бивачного, выдвинулся на 730 м, а затем, за два года, ещё на 1240 м. Таким образом, в целом, ледник № 80 преодолел путь в 2630 м (таблица).

Очевидные признаки пульсационных изменений в бассейне ледника Бивачного прояви-

лись в 2007 г. (см. рис. 1). В средней зоне главных ветвей, ниже фирновых цирков, появились полосы дроблёного льда вдоль склонов. Год за годом они становились всё более выразительными. Особенно яркие признаки отмечены на леднике МГУ (№ 76), который берёт начало на

## Перемещение волн активизации на леднике Бивачный в 2001–2015 гг., м (прочерк – измерения не проведены)

Периоды	Ледник Бивачный (№ 75) и его притоки (нумерованы)									
	67 и 68	69 и 70	71 и 72	73 и 74	75	76	77, 78, 79	80	83	
	Номера точек на космоснимках									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
С 17.09.2001 по 17.08.2004	—							310	—	
С 17.08.2004 по 13.08.2007	—							350	—	
С 13.08.2007 по 31.12.2012	530	1070	170	0	710	790	230	730	—	
С 31.12.2012 по 04.07.2013	1290	980	1010	530	730	900	780	640	620	
С 04.07.2013 по 30.08.2014	1545	1940	2150	2190	1990	2330	2600	600	—	
С 30.08.2014 по 21.10.2014	235	130	180	240	520	110	1010	—	200	
С 21.10.2014 по 16.03.2015	—							640		
<i>Всего</i>	3600	4120	3510	2960	3950	4130	4620	2630	1460	

склоне пика Россия (6875 м). Как и при предыдущей пульсации, он доминировал в этом процессе: массы льда, поступавшие через ледопад в виде двух волн, оттесняли соседние потоки к правому склону и почти закрывали поверхность главного (по определению составителей каталога [2]) ледника № 75, которому присвоено название всей этой гляциальной системы. Впереди, на удалении от продвигавшегося фронта ледника № 76, располагалась сохранявшая стационарное положение «линза» льда этого же потока, оставленная пульсацией 1972–1978 гг.

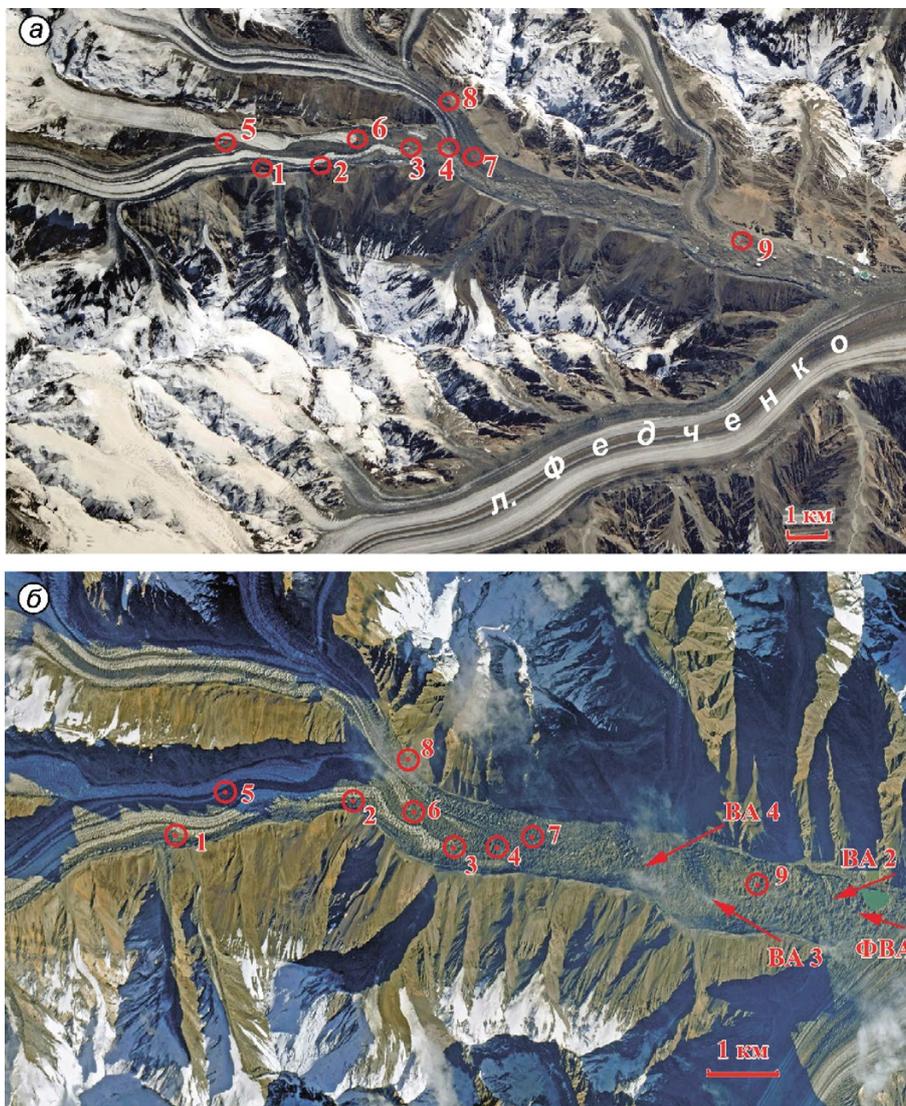
На рис. 4 показано взаимодействие основных потоков ледника Бивачного в августе 2012 и 2014 гг. В данном исследовании использованы космические снимки за 13 дат съёмки. На них прослежены перемещения девяти потоков ледника Бивачного. Очевидно, что при таком обилии данных невозможно продемонстрировать на иллюстрациях последовательное движение всех реперных точек. Пришлось ограничиться представлением данных в табличном виде на восемь дат мониторинга.

В таблице показаны результаты перемещения контрольных точек за время между съёмками. Они отражают динамику движения ветвей ледника Бивачного с 2007 по 2014 г. Важно отметить, что на космических снимках и реально на местности волны активизации имеют размытый контур. Поэтому все результаты измерений отнесены к тем точкам контура дугообразных волн, которые мы субъективно приняли за базовые. Продвижение всех фронтальных частей ветвей ледника Бивачного измерялась путём наложения снимков, сделанных по времени один за другим. Контрольные точки показаны на рис. 1, 3 и 4, а, б. Обратимся теперь к рисункам и таблице, чтобы иметь представление о динамике потоков в системе ледника Бивачного.

Фронт подвижки главной ветви (ледник № 75) прошёл путь в 3950 м, но по мощности подачи льда этот ледник уступает почти всем другим ветвям, порою теряясь среди них. В верхней половине ледниковой системы довольно слабо выглядят ветви № 73 и 74. Мы рассматриваем их совместно, так как в нижней части за счёт вытаивания горных пород с образованием мощной срединной морены ветви сливаются в один яркий чёрный зигзагообразный след, который «борется» то с ветвью ледника № 76, то с объединённым потоком ледников № 71 и 72. Общая дальность выдвигания фронта ледников № 73 и 74 составляет 2960 м. Фронт подвижки объединённой системы ледников № 71 и 72, стекающих с пика Гармо (6595 м), переместился на 3510 м.

Следующий выразительный ледяной поток — общая ветвь № 69 и 70, берущая начало на склонах пика ОГПУ. Обширная тыловая область формирует мощный поток льда, который прокладывает себе путь вдоль правого борта в виде пульсации на расстояние 4120 м, равное выносу ледника № 76. Вытягиваясь вдоль западного склона пика ОГПУ, эта ветвь противодействует вышедшему в долину Бивачного объединённому потоку ледников № 67 и 68, который закрыт моренным чехлом. Эти ледники выдвигаются своим общим фронтом на 3600 м.

Огромные ледники № 77 и 78 стекают со склонов вершин Исмоила Сомони (в прошлом пик Коммунизма, 7495 м) и Россия (6875 м). Каждый из них состоит из двух потоков, хотя в Каталоге [2] это не нашло отражения. Слившись, они образуют ледниковое тело, в котором нет места взаимному оттеснению ветвей. От места слияния с ледником № 79 эти три потока прослеживаются на космических снимках в виде единой ветви, так



**Рис. 4.** Ледник Бивачный 31 августа 2012 г. (а) и 30 августа 2014 г. (б).

ФВА – положение фронтальной волны активизации ранее омертвевшей нижней зоны языка. ВА2, ВА3, ВА4 – соответственно положения второй, третьей и четвёртой волн активизации – следов внутренней подвижки ледника

**Fig. 4.** View of Bivachny Glacier on August 31, 2012 (a) and on August 30, 2014 (b).

ФВА shows position of the frontal wave of earlier dead zone of the glacier tongue. ВА2, ВА3, ВА4 are positions of second, third, and fourth waves of activation, i.e. traces of internal surge

как последний, обладая плотным моренным чехлом, перекрывает и маскирует ледники № 77 и 78.

Самое заметное противодействие активных ветвей ледника Бивачного обнаружено в том месте, где происходит контакт потоков № 77–79 с ледником № 83. Этот приток активизировался с запозданием, лишь в 2012 г. За три года его фронтальная часть прошла путь в 1460 м. Ледник № 83 так плотно перекрывает движение всего ледника Бивачного, что потоки льда главного ствола резко отклоняются вправо со значительным подъёмом поверхности. Особенно наглядно это проявилось во фронтальной части объединённой ветви ледников № 77–79, которая вначале прошла путь около 1 км, но упёрлась в тело ледника № 83. С середины лета 2013 г. эта ветвь преодолела барьер ледника № 83 и не только наверстала отставание от

других потоков, но продвинулась на 3610 м. В результате дальность продвижения этой ветви оказалась максимальной – 4620 м. К осени 2014 г. поток № 76 максимально продвинулся на 4130 м. Его зигзагообразное тело остановилось перед доминирующим во всей системе объединённым потоком ледников № 77–80, закрыв следы своей предыдущей пульсации (см. рис. 4, б).

Первая волна активизации всего языка ледника Бивачного произошла в нижней части языка зимой 2013/14 г. (в сентябре 2013 г. её следов на космических снимках ещё нет, а на фото, сделанном с МКС 2 мая 2014 г., мы обнаружили её в 2800 м от ледника Федченко). Следующая волна активизации дешифрована в 570 м выше по главному стволу. На всех летних снимках 2014 г. хорошо дешифрируются четыре



**Рис. 5.** Правый край ледника Бивачного в 2,5 км от места слияния с ледником Федченко. 24 августа 2014 г. Фото С. Романенкова

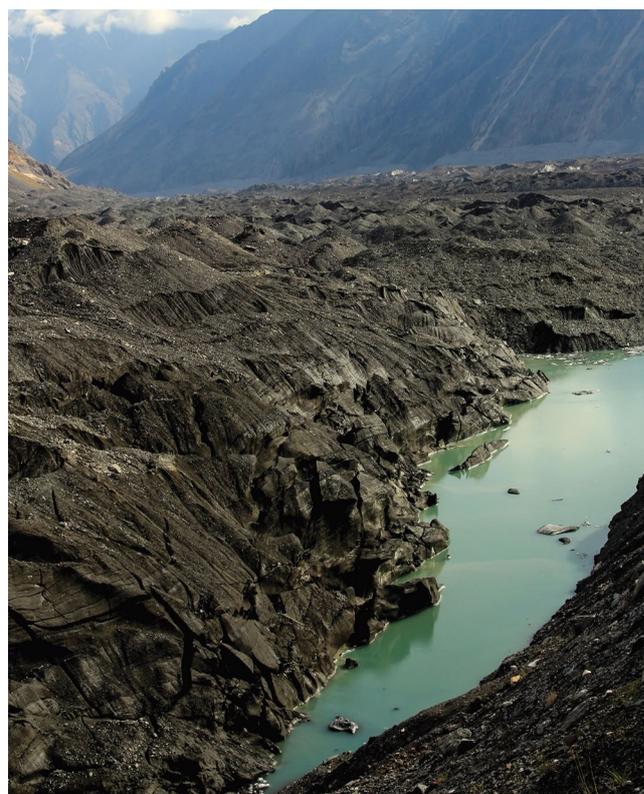
**Fig. 5.** View of the right edge of the Bivachny Glacier in 2.5 km from a point of its confluence with the Fedchenko Glacier. August 24, 2014. Photo by S. Romanenkov

следующие одна за другой волны активизации, которые проявляются высокими валами, пролегающими от одного края ледника до другого.

К 26 июня, т.е. за 55 дней, фронтальная волна, вздымая и активизируя нижнюю мёртвую зону ледника Бивачного, прошла путь в 1640 м от своего позиционирования на дату 2 мая 2014 г. со скоростью 30 м/сут. и начала тормозить. К 30 августа первая волна пульсации приблизилась ещё на 280 м. На рис. 4, б показано положение фронтальной (ФВА) и трёх следующих волн активизации (ВА2, ВА3, ВА4). Рис. 5 даёт представление о том, как выглядела правая сторона языка ледника Бивачного 24 августа 2014 г. К 21 октября 2014 г. фронт подвижки достиг ледника Федченко, преодолев последние 50 м, и остановился. На рис. 6 показана высоко поднятая поверхность ранее мёртвой зоны языка ледника Бивачного. Снимок сделан туристами с правого склона на расстоянии от ледника Федченко около полукилометра.

### Заключение

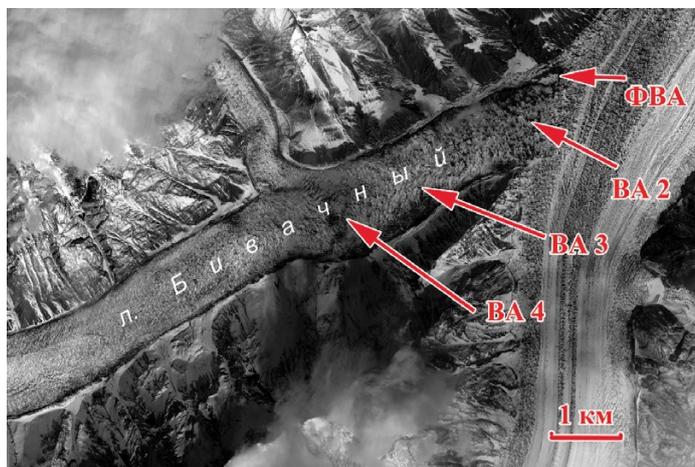
16 и 21 марта 2015 г. ледники Бивачный и Федченко сфотографированы с российского спутника «Ресурс-П» с разрешением на местности 0,7 м (рис. 7). Анализ этих снимков показал, что фронт подвижки в зимнее время не продвинулся, однако в зоны второй, третьей и четвертой волн активизации поступили значительные порции льда и поверхность ледника здесь заметно повысилась. Вероятность продолжения подвижки ледника Бивачного невелика, но в случае его активизации летом и давления на лед-



**Рис. 6.** Активная нижняя часть ледника Бивачного в 500 м от ледника Федченко 24 августа 2014 г. Фото С. Романенкова

**Fig. 6.** Active lower part of the Bivachny Glacier in 500 m from the Fedchenko Glacier on August 24, 2014. Photo by S. Romanenkov

ник Федченко произойдёт нарушение подлёдных каналов стока в левой части ледника, что может вызвать их временную закупорку с последующим прорывом этого препятствия. Заме-



**Рис. 7.** Нижняя область ледника Бивачного в месте его слияния с ледником Федченко 16 марта 2015 г.

Фотоснимок с космического аппарата «Ресурс-П» с разрешением на местности 0,7 м

**Fig. 7.** Lower area of the Bivachny Glacier in the place of its confluence with the Fedchenko Glacier on March 16, 2015. Photograph was made from the satellite «Resurs-P», resolution on the surface is 0.7 m

тим, что в ряде случаев диаметр подлёдных каналов стока в леднике Федченко достигает 5–6 м. В долину р. Сельдары и далее в долину р. Сурхоб может пойти паводковая волна.

### Литература

1. Антонова С.Ю., Десинов Л.В., Котляков В.М., Михайлов В.М., Сулов В.Ф. Возможности использования мелкомасштабных космических снимков для изучения динамики ледников // МГИ. 1977. Вып. 30. С. 146–160.
2. Каталог ледников СССР: Т. 14. Вып. 3. Ч. 8а. Бассейн р. Муксу (А – система ледника Федченко).
3. Корженевский Н.Л. Муксу и ее ледники: Тр. гидромет. отдела Средне-Азиатского метеорол. ин-та. Т. 1. Вып. 1. Ташкент, 1927 // Геоморфология и оледенение Памиро-Алая. Ташкент, 1979. С. 29–88.
4. Котляков В.М., Десинов Л.В., Долгушин Л.Д., Роттаев К.П., Цветков Д.Г. Инструкция по составлению Каталога пульсирующих ледников СССР // МГИ. 1982. Вып. 44. С. 208–234.
5. Осипова Г.Б., Цветков Д.Г. Роль подпруживания в динамике сложных горных ледников. Ледники Бивачный и Сугран, Центральный Памир // МГИ. 1999. Вып. 86. С. 133–141.
6. Осипова Г.Б., Цветков Д.Г. Исследование динамики сложных ледников по дистанционным материалам // Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху. М.: Наука, 2006. С. 254–269.
7. Яценко В.С. В горах Памира. М.: Географгиз, 1950. 192 с.

### Summary

Bivachny Glacier is located in the Pamir, in the River Muksu basin. It is the Republic Tadjikistan territory. Its length is 30 km, and the area exceeds 165 km<sup>2</sup>. This glacier is the main tributary of the Fedchenko Glacier which is the very largest (77 km long) glacier of Eurasia. A distinguishing feature of the Bivachny Glacier is the high mobility of all its ice branches. At any time, one, two or several of these flows are surging. As a rule, pulsations of the branches die out on the Bivachny main body and don't reach the Fedchenko Glacier. Previous surge of this glacier took place in 1972–1976 during which changes of the pattern of all loop-like morainic ridges clearly manifested due to their consecutive compressions and expansions. In succeeding years, some lakes appeared and disappeared near both the glacier edges. For 1976–2012, the «dead» zone of the glacier increased up to 7 km.

Many hundreds of photographs were taken from national orbital stations after 1976, and since 2001 this glacier was regularly photographed from the Russian segment of International Space Station in framework of the program «Hurricane». For 15 years, the cosmonauts made more than 120 photographs of the glacier. It had been found that before 2007, i.e. during 31 years, the activation of several branches of the Bivachny Glacier was not significant, and these pulsations died out rather quickly.

As it followed from observations and the cosmic survey, large surges of different branches of the Bivachny Glacier took place in 2007–2014. This article presents results of analysis of advances of different branches of the Bivachny Glacier. In March of 2015, the glaciers Bivachny and Fedchenko were photographed by the Russian satellite «Resourse-P» with the space resolution on the surface of 0.7 m. One can see from these data that the front part of the surge did not move further down however in two zones of activation the glacier surface continued to rise. A probability of continuation of this surge is not high but in a case of its further activation the meltwaters can break through the runoff channels in the Fedchenko Glacier. Since diameters of these channels reach 5–6 m, such breakthroughs can cause a flood wave downstream the river Surkhob.