Submit your data for the PEEEX View:

file types: xls,xlsx,dat,csv,nas, doc, docx max size:800 KB

Powered by ChronoForms - ChronoEngine.com

[Back to Top](#)

© 2016 PEEEX METADATA

УДК 551.324

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-159-171

А.В. Погорелов¹, Е.С. Бойко¹, Д.А. Петраков², Е.Н. Киселёв¹

РЕАКЦИЯ ЛЕДНИКА ФИШТ (ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ) НА СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

АННОТАЦИЯ

Обобщены данные наблюдений за ледником Фишт – самым западным ледником Кавказа, расположенным на высотах 2450–2750 м. Географическое положение ледника Фишт позволяет считать его одним из наиболее чувствительных к изменениям климата ледников на Кавказе. Источники сведений – схема (1909 г.), аэрофотосъемка (1954 г.), тахеометрическая съемка (1982 г.), воздушное лазерное сканирование (ВЛС) и аэрофотосъемка (2010 г.), съемка с помощью малого беспилотного летательного аппарата (БПЛА) (2015 г.). Установлено, что за 1909–2015 гг. площадь ледника сократилась с 0,9 до 0,5 км², отступление двух языков в плане составило 200±20 м (восточный язык) и 350±20 м (западный язык). При этом в течение 1982–2010 гг. ледник находился в квазистационарном состоянии. В 2011–2015 гг. зафиксировано скачкообразное сокращение размеров ледника. Этому способствовали пониженные суммы осадков в октябре – мае, повышенные температуры воздуха в июне – сентябре, существенно меньшие снеготопы в 2010–2015 гг. в сравнении с периодом 1982–2010 гг. В 2010–2015 гг. среднее значение абляции оказалось примерно на 800 мм водного эквивалента больше, чем в 1982–2010 гг. По нашим оценкам, если в 1982–2010 гг. средняя годовая аккумуляция на леднике Фишт составляла около 4500 мм, то в 2011–2015 гг. она уменьшилась до 3900 мм. Одновременно в 2010–2015 гг. годовой баланс массы ледника оказался не менее чем на 1500 мм меньше, чем в 1982–2010 гг.

Полученные результаты позволяют, вкупе с другими сведениями, уточнить внутрорегиональную (Кавказ) изменчивость отклика ледников на современные изменения климата. Апробированные на леднике технологии измерений средствами ВЛС и БПЛА показали их применимость в горных условиях в части высокоточного моделирования ледниковой поверхности и последующих картометрических расчётов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

беспилотник, воздушное лазерное сканирование, динамика ледника, Западный Кавказ, изменения климата

¹ Кубанский государственный университет; Россия, 350040, Краснодар, ул. Ставропольская, 149; e-mail: pogorelov_av@bk.ru.

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет; Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1; e-mail: dpetrakov@gmail.com

ВВЕДЕНИЕ

На территории Кавказа комплексные исследования современных изменений ледников сосредоточены почти исключительно в центральной его части (Центральный Кавказ). При этом Западный Кавказ, существенно отличающийся по климатическим условиям, морфологии ледников, масс-балансовым показателям местного оледенения от других секторов Кавказа, в этом смысле остаётся почти не изученным. Известно, что формирование сезонного снежного покрова (как компонента вещественного баланса ледников) и осадков в разных секторах Кавказа имеет слабую пространственную корреляцию [Погорелов, 2002]; это косвенно указывает на относительную независимость поведения ледников в этих секторах. Анализ современных изменений размеров ледников на Западном Кавказе способен внести свой вклад в представления об общекавказской деградации горного оледенения, признаки усиления которой в последние годы отмечены в ряде публикаций.

Выбор в качестве объекта исследования ледника Фишт обусловлен относительно высоким уровнем его изученности, а главное – наличием инструментальных съёмок прошлых лет, включая измерения положения конца ледника. Кроме этого, ледник обладает рядом гляциоклиматических и морфологических особенностей и интересен как географический объект.

В Каталоге ледников [Каталог ледников СССР. Т. 8. Ч. 1–4. Бассейн р. Кубани. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 124 с.] ледник Фишт отнесён к морфологическому типу висячий каровый, чрезвычайно распространённому в бассейне р. Кубани. В действительности морфология ледника Фишт сочетает в себе черты карового (имеется чашеобразная впадина в привершинной части склона, выработанная ледником) и ледника плоской вершины (находится на выровненной наклонной поверхности) [Котляков, 1984]. Согласно Каталогу ледников СССР площадь ледника Фишт равна 0,9 км² при длине 1,2 км. По данным В.Д. Панова [Панов, 1968] в октябре 1965 г. площадь его была равна 0,8 км². При этом длина ледника, измеряемая от конца до верхней его границы, скорее характеризует его ширину, поскольку длинная ось расположена поперёк и вкось преобладающего движения льда.

Настоящая работа является продолжением исследований ледника Фишт (другое распространённое название – Большой Фиштинский ледник), ранее обобщённых в статье [Погорелов и др., 2015].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основе исходных данных – исследования Н.А. Морозова [Морозов, 1910], результаты тахеометрической съёмки Б.А. Тарчевского в 1982 г., материалы воздушного лазерного сканирования (ВЛС) и аэрофотосъёмки 2010 г. Полученные дополнительные материалы развивают представления о динамике и современном состоянии ледника. В качестве таковых использованы данные аэрофотосъёмки 1954 г., топографические материалы масштаба 1:25000 за 1957 г. и измерения на леднике, сделанные в 2015 г.

Н.А. Морозову [Морозов, 1910] принадлежит первое развернутое и квалифицированное исследование геологического строения района массивов Фишта и Оштена, на фоне которого весьма подробно рассматриваются и ледники территории. Результаты исследования ледника Фишт опубликовал Г.Г. Григор [Григор, 1932; Григор, 1936]. При этом описание ледника Фишт у автора в значительной степени совпадает с текстом Н.А. Морозова при одном существенном дополнении: у Г.Г. Григора приведена длина среднего языка (620 м).

В начале августа 1982 г. Б.А. Тарчевским выполнены первые инструментальные измерения – тахеометрическая съёмка ледника Фишт, по данным которой построен план в масштабе 1:5000. Во время съёмки почти весь ледник был закрыт снегом, отсюда – неточности в определении контуров ледника (особенно в тыловой части). Однако ценность съёмки заключалась в получении высотных отметок, которые позволили оценить в первом приближении объёмные изменения ледника за последние десятилетия [Погорелов и др., 2015].

В сентябре 2010 г. выполнено воздушное лазерное сканирование и аэрофотосъёмка района массива Фишт. Эффективное применение технологии воздушного лазерного скани-

рования для высокоточного описания гляциологических объектов в горах показано в работах [Погорелов, Бойко, 2010; Бойко, Погорелов, 2012; Погорелов и др., 2015]. В сентябре 2015 г. на леднике сотрудниками кафедры геоинформатики Кубанского государственного университета и кафедры криолитологии и гляциологии МГУ выполнена съёмка с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Можно с полным основанием утверждать, что ледник Фишт – один из редких гляциологических объектов на территории России, где апробированы самые современные технологии высокоточных пространственных измерений.

По материалам воздушного лазерного сканирования, уникального для ледников России, и аэрофотосъёмки 2010 г. построена детальная модель поверхности ледника и окружающих склонов с пространственным разрешением 1 м (рисунок 1). Модель служит картографической основой для последующих оценок эволюции объекта.

Рисунок 1. Цифровая модель рельефа (светотеневая отмывка) в районе ледника Фишт. Разрешение 1 м/пиксель. 1 – контур ледника Фишт в 2015 г.

Figure 1. Digital Elevation Model (hillshade) in the Fisht Glacier's area. Spatial resolution 1 m/pixel. 1 – The Fisht Glacier outline in 2015

Количественные оценки изменений ледника получены по данным инструментальных измерений: тахеометрической съёмки (1982 год), воздушного лазерного сканирования (2010 г.). За столетие (1909–2010 гг.) площадь ледника уменьшилась с 0,9 до 0,59 км², отступление двух языков (ледник двуязычный) в плане составило 140 м для восточного языка и 275 м для западного. Вероятно, по причине различной интерпретации данных Морозова, наша оценка несколько расходится с данными [Ефремов и др., 2014], указывающими на отступление в 201,8 м для восточного языка за этот же период и практически не оценивающими отступление западного языка. В течение 1980–2010 гг. ледник находился в квазистационарном состоянии без существенных сокращений площади и понижения поверхности [Погорелов и др., 2015]. Фактическое значение площади ледника в 1982 г. могло быть на 0,05 км² больше, чем подсчитанное по плану (таблица 1) из-за неточностей в определении границ ледника в тыловой части. Снимок 1954 г. в сочетании с имеющейся цифровой моделью рельефа удачно дополнил хронологический ряд измерений ледника (рисунок 2). Гора Фишт (высшая отметка 2868 м) расположена на Западном Кавказе в междуречье Белой и Пшехи; является самым западным очагом современного оледенения на Кавказе. Горный массив Фишт сложен массивными юрскими рифогенными известняками. Поверхностный сток в районе ледника отсутствует из-за обилия рвов, трещин, воронок и других поверхностных и подземных карстовых форм. Ледник Фишт отличается своеобразием морфологии и условий питания с коэффициентом концентрации снега, близким к 1, что не характерно для ледников Кавказа.

В 2015 г. на Фиштинском леднике авторами была выполнена стереофотосъёмка с помощью сверхлёгкого беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Методика подобной съёмки и дальнейшей обработки материалов для высокогорных ледников была апробирована ранее, в 2014 г., на леднике Колка [Коваленко и др., 2015] и показала хорошие результаты.

Съёмка выполнялась камерами Canon с помощью малого квадрокоптера (рисунок 3). Вес летательного аппарата с камерой не превышал 1,3 кг. Съёмка выполнялась по маршрутам; всего были отсняты 2 маршрута и получено 343 фотографии, использованные в построении модели. В ходе стереофотосъёмки получены снимки местности с высоты 70–100 м с продольным перекрытием 65–75 % и поперечным перекрытием не менее 30 %. Пространственное разрешение снимков – 7 см.

По техническим причинам в 2015 г. не удалось осуществить съёмку верхней трети ледника, однако, исходя из анализа материалов предыдущих лет, верхняя граница ледника подвергалась минимальным изменениям, сопоставимым с величиной погрешностей съёмки. Поэтому верхняя граница ледника 2015 г. на схемах совпадает с границей 2010 г.

Таблица 1. Сведения о леднике Фишт из разных источников
Table 1. Main characteristics of the Fisht glacier from different sources

Характеристика	Схема Н.А. Морозова (1909 г.) [Морозов, 1910]	Аэрофото- снимок 22.09.1954	Каталог ледников СССР [Каталог..., 1967]	В.Д. Панов, 1968 [Панов, 1968]	План Б.А. Тарчевского (1982 г.) [Погорелов и др., 2015]	Данные воздуш- ного лазерного сканирования (сентябрь 2010 г.), [Погорелов и др., 2015]	Данные съёмки беспилот- ником (сентябрь 2015 г.)
Наибольшая длина, км	1,3	1,2	1,2		1,1	1,15±0,01	1,08±0,01
Площадь всего ледника, км ²	0,9	0,79	0,9	0,8	0,61	0,59±0,01	0,50±0,01
Высота низшей точки, м	2390	2430±10	2450		2450	2450±5	2480±5
Высота высшей точки, м	2790	2745±10	2750			2745±5	
Высота фирновой линии, м	-		2640 (10.10.1965)		-	2620*±5	2615*±5
Общая площадь области абля- ции, км ²	-	0,47±0,01	0,6 (10.10.1965)		-	0,46±0,01	0,35±0,01

*Приведено среднее положение фирновой линии

Рисунок 2. 3D-модель рельефа, драпированная аэрофотоснимком 1954 г.
Figure 2. 3D digital terrain model, draped with an aerial image of 1954

Рисунок 3. Запуск малого беспилотника на леднике Фишт (24.09.2015)
Figure 3. Take-off of small drone at Fisht Glacier, September 24, 2015

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате аэросъёмки 2010 года, включавшей в себя воздушное лазерное сканирование и цифровую аэрофотосъёмку, были получены облака точек лазерного отражения со средней плотностью не менее 2 точек на квадратный метр, а также аэрофотоснимки с пространственным разрешением не хуже 20 см. Точность съёмки соответствовала требованиям к созданию топографических карт и планов масштаба 1:2000 и была не хуже 30 см в плане и 15 см по высоте. Точность ортофотопланов, построенных по материалам аэрофотосъёмки 2010 года, выполненной синхронно с воздушным лазерным сканированием, также соответствовала заданным требованиям масштаба 1:2000.

Точность полученных моделей местности и рельефа по данным съёмки 2015 года обусловлена параметрами планово-высотного обоснования и характеристиками фотоснимков. Планово-высотное обоснование сделано в камеральных условиях по материалам съёмки 2010 года. В качестве геодезической планово-высотной основы были использованы опорные точки, однозначно дешифрируемые на съёмках 2010 и 2015 годов. Всего использовано 22 опорные точки. Для контроля точности применены внутренние инструменты программы Agisoft Photoscan, позволяющие вычислить средние и абсолютные погрешности точечной модели относительно опознаков. При построении модели производилась интерактивная корректировка положения маркеров, совмещаемых с опознаками, что способствовало уточнению модели на локальных участках. Также использовалась процедура исключения маркеров из модели в случае больших значений погрешности из-за невозможности однозначной идентификации их на снимках, либо ошибочности измеренных координат. Общая погрешность совмещения моделей 2010 и 2015 годов составила 1,6 м, что является вполне приемлемым результатом для условий высокогорья. На основе полученных текстур создан ортофотоплан и фотосхема участка Фиштинского ледника.

Сравнение двух последних съёмок показало, что в 2011–2015 гг. ледник потерял относительную устойчивость и отступил на 73 ± 1 м (восточный язык) и 56 ± 1 м (западный язык) (рисунок 4); площадь уменьшилась на $0,09 \pm 0,01$ км² (15 %); в области абляции понижение поверхности достигло 15–20 м.

Скачкообразное сокращение размеров ледника в 2011–2015 годах в сравнении с периодом 1982–2010 годов объясняется различиями метеорологических показателей соответствующих временных отрезков как в сезон абляции, так и в сезон аккумуляции ледника. Для объяснения поведения ледника воспользуемся данными близлежащих горных метеостанций Гузерипль и Красная Поляна. Метеостанция Красная Поляна расположена на высоте 566 м в долине р. Мзымты в 39 км юго-восточнее ледника. Отражает характерные для данной территории климатические условия южного макросклона Кавказа, близкие к влажным субтропическим. Из наиболее существенных свойств климата следует выделить выраженный здесь зимний максимум осадков. Метеостанция Гузерипль находится на высоте 668 м в 20 км восточнее ледника Фишт в верховьях р. Белой. Гузериплю свойственны климатические условия данного участка северного макросклона Кавказа вблизи его осевой части. Поскольку ледник Фишт расположен непосредственно в осевой зоне Главного хребта, данные метеостанций Красная Поляна (южный макросклон) и Гузерипль (северный макросклон) следует считать показательными в отношении условий абляции/аккумуляции ледника с поправками на вертикальные градиенты и местные орографические эффекты.

Дополнительно использованы данные снегопункта 9 (СП-9) снегомерного маршрута с. Черниговское – гора Фишт в бассейне р. Пшехи. СП-9 расположен на высоте 1570 м у границы леса в 7 км ССВ от исследуемого ледника. Ежегодные снегомерные измерения на маршруте проводятся обычно во второй декаде марта – в период максимального снегонакопления в бассейне р. Пшехи.

Среднегодовые значения температуры воздуха теплого периода (июнь – сентябрь) по данным метеостанций Гузерипль и Красная Поляна обладают весьма тесной связью со значением коэффициента корреляции $R=0,97$. Связь осадков холодного периода (октябрь – май)

несколько слабее, но всё равно достаточно тесная ($R=0,83$). Связь снегозапасов на СП-9 с суммой осадков холодного периода в Гузерипле ($R=0,07$) и Красной Поляне ($R=0,14$) отсутствует. Причина, на наш взгляд, в значимых различиях абсолютных высот и несовпадении продолжительности залегания устойчивого снежного покрова на снегопункте с принятым холодным периодом (октябрь – май).

Судя по данным двух метеостанций, средняя температура воздуха в период абляции (июнь–сентябрь) в 2011–2015 гг. была на $1,1^{\circ}\text{C}$ выше, чем в 1982–2010 гг., а количество зимних осадков, напротив, на 250 мм или на 16 % ниже (Красная Поляна) или на 100 мм или 12 % ниже (Гузерипль) (рисунок 5). Средние снегозапасы по данным СП-9 в 2010–2015 гг. были на 299 мм или 34 % ниже, чем в 1982–2010 годах.

Рисунок 4. Изменения площади ледника Фишт в 1909–2015 гг.

Ортофотоплан построен по данным аэросъёмки 2010 г.

1 – гребни горы Фишт; 1909 – 2015 – контуры ледника за различные годы

Figure 4. Change in the area of Fisht Glacier in 1909–2015.

The orthophotoplan has been created based on 2010 aerial survey.

1 – ridges of Mount Fisht; 1909 – 2015 – glacier outlines for different years

Рисунок 5. Годовые (1) и средние за периоды 1982–2010 и 2011–2015 гг. (2) суммы осадков в период аккумуляции (октябрь–май), годовые (3) и средние за те же периоды (4) значения температуры воздуха в период абляции (июнь–сентябрь) по данным метеостанций Красная Поляна и Гүзерипль, годовые (5) и средние за те же периоды (6) снеготпасы по данным СП-9

Figure 5. Annual (1) and mean for the periods 1982–2010 u 2011–2015 (2) precipitation sums for accumulation season (October–May), annual (3) and mean for the same periods (4) air temperature during ablation season (June–September) according to data from weather stations Krasnaya Polyana and Guzeripl', annual (5) and mean for the same periods (6) values of snow water equivalent according to data from SP-9

Как подобные изменения могли повлиять на баланс массы ледника? Судя по прямым наблюдениям на леднике Марух (Западный Кавказ), среднее таяние снега и льда из расчета на 1°C (DDF) составляет 6,7 мм водного эквивалента. Принимая во внимание продолжительность периода абляции порядка 100–120 дней, в 2010–2015 годах ежегодное таяние в среднем было больше на 800 мм водного эквивалента, чем в 1982–2010 годах.

Оценим влияние на режим ледника сокращения количества осадков в сезон аккумуляции. Учитывая квазистационарное состояние ледника в 1982–2010 гг., допускаем, что аккумуляция в этот период была близка к абляции. Средняя температура в период абляции (июнь – сентябрь) по данным Красной Поляны в этот период равна $+18,6^{\circ}\text{C}$, а по данным Гузерипля $+16,8^{\circ}\text{C}$. Для экстраполяции этих данных на ледник Фишт в первом приближении следует учесть разность высот между метеостанциями и геометрическим центром ледника (около 2000 м), температурный градиент теплого периода, вслед за [Давидович, Тареева, 1980] принимаемый нами $0,49^{\circ}\text{C}/100$ м для северного склона (Гузерипль – ледник Фишт) и $0,56^{\circ}\text{C}/100$ м для южного склона (Красная Поляна – ледник Фишт), а также температурный скачок на границе ледника, принимаемый 1°C . Тогда среднюю температуру воздуха над ледником в период абляции в 1982–2010 гг. можно принять равной $+6,2^{\circ}\text{C}$, а абляцию – 4600 мм водного эквивалента. С учётом незначительного понижения поверхности ледника в 1982–2010 годах аккумуляцию за этот период можно принять равной 4500 мм водного эквивалента. Это в три раза превышает суммарное количество осадков в октябре–мае по данным Красной Поляны (1520 мм, 1982–2010 годы) и более чем в пять раз – количество осадков за тот же период в Гузерипле (820 мм). Принимая значение аккумуляции на леднике пропорциональным сумме осадков холодного периода на метеостанциях, получаем среднюю аккумуляцию на леднике Фишт в 2011–2015 годах 3900 мм, т. е. на 600 мм меньше, чем в 1982–2010 годах.

Если принять уменьшение аккумуляции на леднике Фишт пропорциональным уменьшению снегозапасов на снегопункте СП-9, то оно составит около 1500 мм. Отметим, что после 2007 года в верховьях рек Пшехи и Белой не было зим с экстремально большими снегозапасами (рисунок 5), т. е. высокой аккумуляцией на леднике – с запасом снега на один год и более. Это должно было привести к уменьшению среднего значения альбедо в летний период и, соответственно, дополнительному усилению таяния. Кроме того, определенный вклад в уменьшение аккумуляции способны были внести повышенные температуры воздуха в мае (относительное повышение $1,8^{\circ}\text{C}$) и сентябре ($1,3^{\circ}\text{C}$). Последнее могло привести к изменению фазового состояния осадков в сторону увеличения доли жидких осадков. Таким образом, в 2011–2015 гг. средний годовой баланс массы ледника Фишт был как минимум на 1500 мм меньше, чем в 1982–2010 гг. Сведения об изменении размеров ледника за период наблюдений обобщены в таблице 1.

Стоит отметить, что на опорном для Кавказа леднике Джанкуат наблюдались схожие тенденции изменения баланса массы: если в 1982–2010 годах его среднее значение составляло -170 мм [Поповнин, Петраков, 2005; <http://www.wgms.ch>], то в 2011–2015 гг. – -1030 мм (неопубликованные данные В.В. Поповнина). На Джанкуате переход баланса в область резко отрицательных значений произошел раньше – в 2006 году. Схожие процессы в последние годы зафиксированы на ледниках Карачаево-Черкесии: средние скорости отступления фронтов 18 ледников в 1967–2000 гг. составляли 3,8 м/год, в 2000–2010 гг. скорости выросли более чем вдвое, а в 2010–2015 гг. достигли 15,2 м/год [Онищенко и др., 2016].

ВЫВОДЫ

1. Небольшой по площади ледник Фишт, самый западный из ледников Кавказа, находится на высотах 2450–2750 м на одноименной горной вершине (2868 м). Характеризуется невысоким скальным обрамлением, почти полным отсутствием моренного чехла, что приводит к его высокой чувствительности к текущим изменениям климата. Фишт, расположенный

на удалении менее 40 км от Чёрного моря, относится к числу наиболее «морских» ледников на Кавказе.

2. Цифровые модели рельефа, составленные на основе лазерного сканирования (2010 год) и стереосъёмки с борта беспилотника (2015 год) вместе с планом Б.А. Тарчевского масштаба 1:5000 (1982 год) позволяют достаточно точно оценить изменения ледника в последние десятилетия.

3. В течение 1982–2010 годов ледник находился в квазистационарном состоянии, его площадь уменьшилась на 4 %, а поверхность понизилась в среднем на 2 м. В 2011–2015 годах площадь ледника уменьшилась на 15 %, достигнув $0,5 \pm 0,01$ км², а поверхность в области абляции понизилась на 15–20 м.

4. Скачкообразное изменение состояния ледника объясняется заметным ухудшением условий питания на фоне усиления абляции. По данным близко расположенных метеостанций Гузерипль и Красная Поляна в 2011–2015 годах отмечено существенное уменьшение зимних осадков и одновременный рост летней температуры по сравнению с периодом 1982–2010 гг., а также резкое (на треть) уменьшение снеготопливных запасов по данным снегомерного маршрута в верховьях р. Пшехи. По нашим оценкам, в 2011–2015 гг. баланс массы ледника Фишт был резко отрицательным. Столь выраженное проявление негативной аномалии баланса на леднике Фишт объясняется, вероятно, его реакцией на изменения температуры воздуха и осадков в последние годы.

5. Судя по данным об отступании фронтов ледников Карачаево-Черкессии и сведениям о балансе массы опорного для Кавказа ледника Джанкуат, период 2011–2015 гг. был весьма неблагоприятен и для оледенения Западного и Центрального Кавказа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойко Е.С., Погорелов А.В. Применение лазерного сканирования в исследованиях рельефа и снежного покрова. Морфометрический аспект. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2012. – 147 с.
2. Григор Г.Г. Описание ледников в верховьях рек Белой, Киши, Уруштена (Западный Кавказ) // Изв. Госуд. Геогр. об-ва. – 1932. – Т. 64. – Вып. 4–5. – С. 343–351.
3. Григор Г.Г. Отчет о гляциологических работах 1929 и 1930 годов в районе Кавказского заповедника // Труды показательного Кавказского государственного заповедника, 1936. – Т. 1. – С. 58–66.
4. Давидович Н.В., Тареева А.М. Составление гляциоклиматических карт масштаба 1:3000 000 для Атласа снежно-ледовых ресурсов Мира // МГИ, 1979 (1980). – Вып. 37. – С. 66–71.
5. Ефремов Ю.В., Ильичев Ю.Г., Зимницкий А.В. Изменение размеров оледенения в бассейнах рек Малая Лаба и Белая (Западный Кавказ) за последнее столетие // Лёд и Снег. 2014. – № 54 (4). – С. 43–53.
6. Коваленко Н.В., Петраков Д.А., Алейников А.А., Аристов К.А., Бойко Е.С., Дробышев В.Н., Черноморец С.С. Гляциологический мониторинг ледника Колка в 2002–2014 гг. // Вестник Владикавказского научного центра, 2015. – Т.15. – № 4. – С. 43–50.
7. Котляков В.М. Гляциологический словарь. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 526 с.
8. Морозов Н.А. Геологические исследования в области массива Фишта и Оштена на Западном Кавказе // Изв. Санкт-Петербургского политехн. ин-та, 1910. – Т. 14. – Вып. 2–3. – С. 1–71.
9. Панов В.Д. Ледники в верховьях Кубани. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 132 с.
10. Погорелов А.В. Снежный покров Большого Кавказа: Опыт пространственно-временного анализа. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 287 с.
11. Погорелов А.В., Головань К.Р., Бойко Е.С. Изменения ледника Фишт (Западный Кавказ) за период наблюдений // Географические исследования Краснодарского края, 2015. – Вып. 9. – С. 7–19.

12. Погорелов А.В., Бойко Е.С. Исследование микро- и мезомасштабной структуры поля снежного покрова в горах на основе технологии лазерного сканирования // Лед и снег, 2010. – № 2 (110). – С. 35–42.
13. Поповнин В.В., Петраков Д.А. Ледник Джанкуат за минувшие 34 года (1967/68–2000/01 гг.) // МГИ, 2005. – Вып. 98. – С. 167–174.
14. Онищенко В.В., Дега Н.С., Тохчуков Ш.Ю. Геоэкологические особенности трансформации современного оледенения Карачаево-Черкесии // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. – Серия «Естественные и точные науки», 2016. – № 1 (34). – С. 97–102.

Anatoliy V. Pogorelov¹, Eugeny S. Boyko¹, Dmitriy A. Petrakov², Eugeny N. Kiselyov¹

THE REACTION OF FISHT GLACIER (WESTERN CAUCASUS) TO CURRENT CLIMATE CHANGE

ABSTRACT

We have generalized observation data on Fisht Glacier – the most western glacier in the Caucasus located at elevation 2450–2750 m asl. Considering location of Fisht Glacier we might consider it one of the most sensitive to climate change glaciers in the Caucasus. We used the following materials: sketch map (1909), aerial photos (1954), topographic map (1957), detailed map (1:5000, 1982), LIDAR survey data (2010) and finally UAV data (2015). We have noted considerable shrinkage of glacier area from 0.9 ± 0.1 to 0.5 ± 0.01 km² in 1909–2015, retreat of glacier termini was assessed as 200 ± 20 m (eastern snout) and 350 ± 20 m (western snout). We consider that during 1982–2010 the glacier was close to equilibrium, but during 2010–2015 the glacier surface elevation lowering up to 15–20 m was accompanied by an abrupt decrease of glacier area at about 15 %. Rapid glacier downwashing in 2010–2015 could be explained by a significant decrease of October–May (accumulation season) precipitation and snow thickness accompanied by an increase of June–September (ablation season) air temperature in comparison to 1982–2010. During 2010–2015 mean ablation was about 800 mm w.e. more than during 1982–2010. Basing on geodetical data on glacier change in 1982–2010 and ablation values assessed using DDF (4600 mm w.e.) we have roughly estimated mean accumulation at Fisht Glacier as 4500 mm w.e. In 2010–2015 mean accumulation was at least 600 mm w.e. lower than in 1982–2010. As a result in 2010–2015 Fisht Glacier lost at least 1500 mm w.e. more than in 1982–2010.

Basing on obtained results we could adjust regional pattern of the glacier response to climate change in the Caucasus. Rarely applied in Russia both LIDAR and UAV techniques are recognized as precise tools for mapping glacier surface in high mountains.

KEYWORDS:

climate changes, glacier dynamics, LIDAR, UAV, Western Caucasus

REFERENCES

1. Boyko E. S., Pogorelov A.V. Primenenie lazernogo skanirovaniya v issledovaniyah rel'efa i snezhnogo pokrova. Morfometricheskij aspekt [Application of laser scanning in the research of terrain and snow cover. Morphometric aspect] Novosibirsk: Academic publishing house "Geo", 2012, 147 p. (in Russian).

¹ Kuban State University; Russia, 350040, Krasnodar, ul. Stavropolskaya, 149; e-mail: pogorelov_av@bk.ru

² M.V.Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography; Russia, 119234, Moscow, Leninskie Gory, 1; e-mail: dpetrakov@gmail.com

2. Grigor G. Opisaniye lednikov v verhov'yah rek Beloj, Kishi, Urushtena (Zapadnyj Kavkaz) [Description of glaciers in the upper reaches of the rivers Belaya, Kisha, Urushten (Western Caucasus)]. *Izvestia Gosudarstvennogo Geographicheskogo Obshestva. Proceedings of State Geographic Society*, 1932, No 64(4–5), pp. 343–351 (in Russian).
3. Grigor G. Otchyot o glyaciologicheskikh rabotah 1929 i 1930 godov v rajone Kavkazskogo zapovednika. [Report of glaciological work in 1929 and 1930 in the area of the Caucasian Reserve.] *Trudi pokazatel'nogo Kavkazskogo gosudarstvennogo zapovednika*, 1936, No 1, pp. 58–66 (in Russian).
4. Davidovich N.V., Tareeva A.M. Sostavleniye glyacioklimaticheskikh kart masshtaba 1:3 000 000 dlya Atlasa snezhno-ledovykh resursov Mira [Compilation of glacioclimatical maps with a scale of 1:3000000 for World Atlas of Snow and Ice Resources], *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*, 1979 (1980), No 37, pp. 167–184 (in Russian).
5. Efremov Y.V., Ilichev Y.G., Zimnickiy A.V. Izmeneniye razmerov oledeneniya v bassejnah rek Malaya Laba i Belaya (Zapadnyj Kavkaz) za poslednee stoletie [Size Change of glaciation in the basins of rivers Malaya Laba and Belaya (West Caucasus) for the last century], *Led i sneg*, 2014, No 4 (54), pp. 43–53 (in Russian).
6. Kovalenko N.V., Petrakov D.A., Aleinikov A.A., Aristov K.A., Boyko E.S., Drobyshch V.N., Chernomorets S.S. Glyaciologicheskij monitoring lednika Kolka v 2002–2014 gg. [Glaciological monitoring of Kolka glacier in 2002–2014.], *Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra*, 2015, No 4(15), pp. 43–50 (in Russian).
7. Kotlyakov V. M. Glyaciologicheskij slovar' [Glaciological dictionary], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984, 526 p. (in Russian).
8. Morozov N.A. Geologicheskie issledovaniya v oblasti massiva Fishta i Oshtena na Zapadnom Kavkaze [Geological studies in the area of the array of Fisht and Oshten in the Western Caucasus], *Izvestia Sankt-Peterburgskogo Politehnicheskogo instituta*, 1910, No 14 (2–3), pp. 1–71 (in Russian).
9. Panov V. D. Ledniki v verhov'yah Kubani [Glaciers in the upper reaches of the Kuban], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1968, 132 p. (in Russian).
10. Pogorelov A.V. Snezhnyj pokrov Bol'shogo Kavkaza: Opyt prostranstvenno-vremennogo analiza [Snow cover of the greater Caucasus: the Experience of spatial-temporal analysis]. Moscow: IKC "Akademkniga", 2002, 287 p. (in Russian).
11. Pogorelov A.V., Golovan K. R., Boyko E. S. Izmeneniya lednika Fisht (Zapadnyj Kavkaz) za period nablyudenij [Changes in Fisht Glacier (West Caucasus) for the observation period], *Geographicheskie issledovaniya Krasnodarskogo kraja*, 2015, No 9, pp. 7–19 (in Russian).
12. Pogorelov A.V., Boyko E. S. Issledovanie mikro- i mezomasshtabnoj struktury polya snezhnogo pokrova v gorah na osnove tekhnologii lazernogo skanirovaniya [Investigation of micro- and mesoscale structure of the snow cover field in mountains on the basis of the technology of laser scanning], *Led i sneg*, 2010, No 2 (110), pp. 35–42 (in Russian).
13. Popovnin V. V., Petrakov D. A. Lednik Dzhankuat za minuvshie 34 goda (1967/68–2000/01 gg.) [Glacier Djankuat for the last 34 years (1967/68–2000/01)] *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*, 2005, 98, pp. 167–174 (in Russian).
14. Onishchenko V.V., Dega N.S., Tokhchukova S.Y. Geoekologicheskie osobennosti transformacii sovremennogo oledeneniya Karachaevo-Cherkesii [Geoeological features of the transformation of the modern glaciation of Karachaevo-Circassia], *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*, 2016, No 1(34), pp. 97–102 (in Russian).