

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И ЛЕДНИКИ

УДК 551.324.63

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2016-3(95-104)

КОЛЕБАНИЯ ЛЕДНИКА ТЕРСКОЛ, СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ, РОССИЯ

И.С. Бушуева<sup>1</sup>, О.Н. Соломина<sup>1,2</sup>, Н.А. Володичева<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29, Россия

<sup>2</sup> Томский государственный университет, 634050, Томск, просп. Ленина, 36, Россия

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический ф-т, 119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия; [irinasbushueva@gmail.com](mailto:irinasbushueva@gmail.com)

Представлена реконструкция колебаний ледника Терскол, расположенного на юго-восточном склоне Эльбруса. Реконструкция была составлена на основе космических и аэрофотоснимков 1957, 1971, 1987, 1997, 2001, 2007 и 2009 гг., карт и планов, составленных в конце XIX–XX вв., старых фотографий предполый ледника конца XIX – начала XX вв., современных фотографий конца XX – начала XXI вв. В результате было реконструировано 13 положений конца ледника, а также дешифрировано 10 моренных комплексов. За последним комплексом морен, на высоте 2550 м, имеются неясные следы более древних морен, частично перекрытых селевыми отложениями. Датирование можжевельников, произрастающих на этих поверхностях, показывает, что в течение последних 300 лет ледник Терскол не продвигался ниже этих поверхностей. Диапазон колебаний конца ледника за 300 лет не превышал 1150 м в плане и 460 м по высоте, площадь ледника уменьшилась на 0.74 км<sup>2</sup>.

*Дендрохронология, дистанционные методы зондирования Земли, колебания ледников, лишенометрия*

FLUCTUATIONS OF TERSKOL GLACIER, NORTHERN CAUCASUS, RUSSIA

I.S. Bushueva<sup>1</sup>, O.N. Solomina<sup>1,2</sup>, N.A. Volodicheva<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geography, RAS, 119017, Moscow, Staromonetny per., 29, Russia

<sup>2</sup> Tomsk State University, 634050, Tomsk, Lenina ave., 36, Russia

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Department of Geography, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, Russia; [irinasbushueva@gmail.com](mailto:irinasbushueva@gmail.com)

Reconstruction of fluctuations of Terskol Glacier situated on the south-western slope of Elbrus is presented. The reconstruction is based on remote sensing images of 1957, 1971, 1987, 1997, 2001, 2007 and 2009, maps, plans and photographs of the late 19th–20th centuries, as well as on modern photographs of the late 20th – the beginning of 21st centuries. As a result, 13 positions of the glacier's edge have been created and 10 moraines have been identified. Behind the last moraine complex (at the height of 2,550 m), indistinct remnants of the older moraines partly covered by a debris-flow have been revealed. Dating of junipers growing on these surfaces demonstrated that over the last 300 years Terskol Glacier had not moved below these levels. Therefore, over the last 300 years Terskol Glacier has fluctuated not more than 1,150 m in plane and 460 m in elevation. The glacier's area has decreased over this time by 0.74 km<sup>2</sup>.

*Dendrochronology, Earth remote sensing, glacier fluctuations, lichenometry*

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время во всех районах земного шара отмечается тенденция к отступанию горных ледников. Эта тенденция согласуется с данными метеорологических наблюдений, свидетельствующими о глобальном повышении среднегодовых температур на Земле на 0.85 °C за период с 1880 по 2012 г. [IPCC, 2013]. Горные ледники, таким образом, являются чувствительными индикаторами изменений климата, и их колебания могут служить и служат важным источником палеоклиматической информации, которая позволяет рассма-

тривать современные изменения климата в более широком временном контексте [Oerlemans, 2001].

Информацию о состоянии ледников в прошлом можно получить из исторических описаний ледников, старых карт, снимков, картин, а также при помощи датирования морен, которые формируются ледниками в результате наступаний или длительного стационарного состояния. Морены датируются при помощи исторических, биоиндикационных и радиометрических методов. Точность этого датирования разная и зависит от на-

личия материала для датирования и естественных ограничений методов определения возраста. Наибольшая точность (до года) достигается при использовании исторических сведений и дендрохронологии, если удастся найти деревья, непосредственно поврежденные или уничтоженные наступающим ледником и погребенные в моренах. Обычно точность датирования существенно ниже и составляет несколько десятилетий или даже столетий.

История изучения горного оледенения Кавказа насчитывает уже полтора столетия [Abich, 1875], и в этой области достигнут существенный прогресс. Однако по сравнению со многими другими горно-ледниковыми районами земного шара (Альпы, Скалистые горы, горы Скандинавии и др.) детальность кавказских реконструкций еще очень низкая, а основания для многих выводов – шаткие; многие эпизоды ледниковой истории все еще базируются на аналогиях с альпийской историей. Серьезную проблему представляют пространственные привязки положений концов ледников и их морен. До сих пор для подавляющего большинства ледников Кавказа имеются лишь самые общие схемы расположения концов, которые ни в какой мере не отвечают возможностям современной картографии. Отсутствие таких привязок осложняет, а в ряде случаев и просто делает невозможным использование богатейших материалов по колебаниям концов ледников в XX в., собранных несколькими поколениями исследователей [Динник, 1890; Подозерский, 1911; Буш, 1914; Соловьев, 1933; Орешникова, 1936; Ковалев, 1961; Тушинский, 1968; Сейнова, Золотарев, 2001; Панов и др., 2008; Золотарев, 2009]. Только точное пространственное позиционирование границ ледников позволяет построить непрерывные ряды наблюдений, продлить их в прошлое при помощи исторических и биоиндикационных методов, использовать для моделирования.

Комплексное применение современных картографических, биоиндикационных и радиометрических методов для создания реконструкций колебаний ледников Кавказа является важной и актуальной задачей, имеющей как фундаментальное, так и прикладное значение.

Настоящая работа продолжает серию публикаций о колебаниях ледников Кавказа в последние столетия [Бушуева, Соломина, 2012; Соломина и др., 2012]. Реконструкции основаны на данных инструментального наблюдения за положением концов ледников, дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), исторических свидетельствах и результатах применения биоиндикационных методов (лихенометрии и дендрохронологии) [Володичева, Войтковский, 2004; Бушуева, Соломина, 2012; Соломина и др., 2012]; они включают также оценку изменения размеров ледников по данным матема-

тического моделирования. Основная задача этих исследований – осуществить как можно более точную привязку границ ледников в пространстве и во времени и оценить скорости современного сокращения ледников с учетом исторического контекста.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РЕКОНСТРУКЦИИ КОЛЕБАНИЙ ЛЕДНИКА ТЕРСКОЛ

### Колебания ледника по картографическим и фотографическим источникам

Ледник Терскол (43°18' с.ш.; 42°30' в.д.) берет начало на ледниковом склоне вулкана Эльбрус и стекает на юго-восток в долину р. Терскол. Во время нашего посещения ледника Терскол в 2009 и 2014 гг. его конец располагался в верхней части огромного ригеля (рис. 1). При сравнении современной картины долины с изображениями начала века видно, как сильно сократился ледник за этот период.

Судя по космическим снимкам GeoEye (16 октября 2009 г.), CARTOSAT (12 сентября 2007 г.) и ASTER (15 сентября 2001 г.), с 2007 по 2009 г. ледник сократился на 12 м, с 2001 по 2007 г. – на 25 м. Приведенные значения соответствуют сокращению ледника в плане, т. е. в проекции на горизонтальную поверхность, в то время как ледник располагается на высоком, почти отвесном, ригеле. Аэрофотоснимки, сделанные 24 июля 1957 г., 26 сентября 1987 и 1997 гг., и космический снимок со спутника CORONA 1971 г. позволяют реконструировать следующую картину: с 1997 по 2001 г. ледник сократился на 29 м, с 1987 по 1997 г. – на 55 м, в период с 1971 по 1987 г. ледник Терскол наступил на 50 м. Таким образом, в конце 1970-х – начале 1980-х гг. происходило наступание ледника. В эти годы на леднике Терскол проводили исследования Н.А. Володичева и другие сотрудники географического факультета МГУ, которые зафиксировали наступание на леднике Терскол в 1960 – 1970-х гг. [Панов и др., 2008]. В период с 1957 по 1971 г. ледник отступил на 25 м. В 1957–1958 гг., по сообщению В.Н. Костюсова [1959], у ледника Терскол было пять языков, крайний правый отмирал; В.Б. Нефедова [1958] также указывает, что конец ледника имел вид лапы с пятью пальцами; Г.К. Тушинский [1958], побывавший на леднике 18 августа 1957 г., отмечает, что конец языка залегает в виде четырехпалой лапы. На схеме конца ледника Терскол тех лет, представленной в статье А.В. Брюханова [1958], выделяются пять языков. Подобные расхождения, скорее всего, связаны с субъективностью в интерпретации формы конца ледника. С одного и того же базиса 3 июля 1956 г. и 25 июля 1957 г. была проведена фототеодолитная съемка конца ледника, показавшая, что "...наиболее значительно отступление наблюдается в восточной

а



б



Рис. 1. Изображение ледника Терскол начала XX в. неизвестного автора (а) и фотография ледника Терскол И.С. Бушуевой, 2009 г. (б).

части конца ледника, которая заканчивается тремя вытянутыми языками. Здесь ледник отступил в среднем на 10–15 м. Максимальные величины отступления в 37 и 30 м отмечены для самого левого и среднего языка. Положение западной части конца ледника Терскол за год почти не изменилось. Незначительное, порядка 5–6 м, отступление наблюдается здесь лишь в двух наиболее вытянутых участках...” [Брюханов, 1958, с. 75–78]. До 1957 г. реконструкция основана на картах, схемах, фотографиях и описаниях ледника. Положение конца ледника в 1936 г. определено по фотографии неизвестного автора (рис. 2). С 1936 по 1957 г. ледник сократился на 160 м.

На фотографии, сделанной в 1948 г. Я.И. Фроловым (рис. 3) [Фролов, 1950], ледник Терскол имеет приблизительно такие же размеры, как в 1936 г., возможно, в 1948 г. он был даже немного больше. Фотографии сделаны с разных ракурсов,

поэтому точно определить изменения невозможно. По данным П.А. Иванькова, в 1946 г. конец ледника находился на 1300 м выше места слияния трех ручьев в районе верхней границы группы деревьев на восточном склоне долины (абсолютная высота этого места 2483 м). Указанная П.А. Иваньковым [1960] высота точки не соответствует высоте этой точки на используемой нами цифровой модели рельефа (ЦМР GDEM) и топографической карте 1989 г. масштаба 1:100 000. По-видимому, расстояние указано с учетом рельефа, а точность ЦМР не позволяет использовать подобные данные.

П.В. Ковалев [1961] побывал на леднике Терскол в 1947 г. Он сообщает: “Ледник оканчивается четырьмя небольшими рукавами, образующими ледопад с многочисленными высокими серраками. Левая часть конца ледника спускается с уступа ниже правой, но уже в 1947 г. она не достигала дна



Рис. 2. Фотография неизвестного автора, 1936 г.

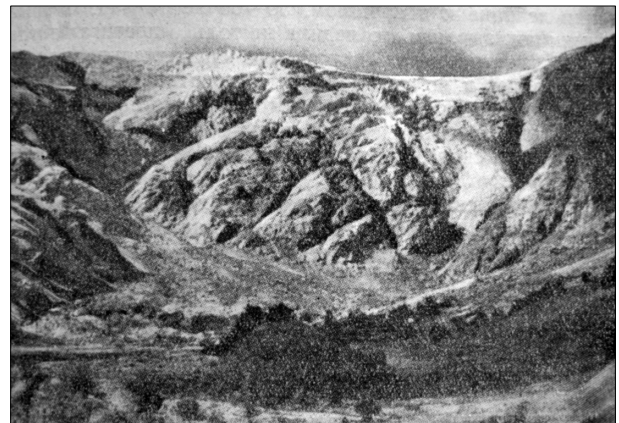


Рис. 3. Фотография ледника Терскол Я.И. Фролова, 1948 г.

долины. От второго слева рукава, расположенного на уступе, постоянно обрываются куски льда, которые у подножья уступа снова замерзают, образуя небольшой возрожденный ледник...” [Ковалев, 1961, с. 91]. С 1925 по 1936 г. ледник Терскол сократился на 180 м. Положение ледника на 1925 г. реконструировано по фотографии, сделанной В.Я. Альтбергом [1928]. В этот период (1932–1933) ледник посещала Е.И. Орешникова, которая писала, что “...левая часть конца языка заострена и достигает дна долины, остальная располагается значительно выше и висит почти на краю уступа...” [Орешникова, 1936, с. 265]. Ледник обнаруживал явные признаки отступления, которые происходят главным образом за счет обвала льда с крутого уступа. Сравнивая конец ледника с фотографией М. фон Деши, автор делает вывод, что общая конфигурация и положение конца языка сильно изменились. С.П. Соловьев, посетивший ледник в 1929–1932 гг., свидетельствует, что конец ледника висит и с каждым годом все больше обнажается из-под него почти отвесная гранодиоритовая стена. “...Прежде конец ледника находился на дне верховья долины Терскол, а в настоящее время этой части ледника совершенно не существует...” [Соловьев, 1933, с. 153]. С.П. Соловьев также указывает, что по сравнению с топографической картой 1887–1889 гг. наблюдаются довольно значительные изменения в сторону уменьшения площади ледников.

В 1911 г. ледник посетил Н.А. Буш [Буш, 1914]. Он сообщает об асимметрии ледника: правая часть нижнего конца лежит над отвесным скалистым обрывом, отшлифованным ледником, левая часть спускается гораздо ниже, до дна ущелья. Он отмечает начало наступания ледника, так как ледник двигает перед собой небольшую новую конечную морену. Н.А. Буш также сообщает, что морена образуется из-за выпаживания ледником пород ложа, так как поверхность ледника чистая и



Рис. 4. Фотография ледника Терскол В. Селла, 1889 г. [Freshfield, 1896].

камни с нее сваливаться не могут. И.В. Мушкетов ссылается в своих статьях на К.В. Поггенполя и пишет, что ледник “...на фотографии, снятой 3 года тому назад, доходит до дна долины Терскола, а теперь поднялся метров на 120, оставив морену и открыв скалы русла...” [Мушкетов, 1898, с. 620]. Во второй статье [Мушкетов, 1899] он указывает, что ледник Терскол отступил на 7 м, что для такого большого ледника является незначительным уменьшением. Г. Мерцбахер не дает описания конца ледника, однако в его книге помещено несколько фотографий ледника Терскол того времени [Merzbacher, 1901].

В 1889 г. ледник Терскол сфотографировал итальянский топограф и альпинист В. Селла (рис. 4) [Freshfield, 1896]. В 1889 г. ледник был на 230 м длиннее по сравнению с 1925 г. [Альтберг, 1928]. Сравнение фотографии В. Селла и одноверстной карты корпуса военных топографов 1887 г. показывает, что с 1887 по 1889 г. ледник должен был наступить на 115 м, что маловероятно. Точность привязки границ ледника по фотографиям может составлять несколько десятков метров, но в данном случае существуют хорошие ориентиры в виде морен, промоин и конусов выноса селевых потоков, что исключает возможность большой ошибки. В то же время граница ледника на карте военных топографов прорисована не очень четко, она сливается с горизонталями, это может повлечь за собой ошибку при интерпретировании карты. Таким образом, оба источника дают основание полагать, что конец ледника Терскол в конце 1880-х гг. располагался в районе морены, которая на схеме авторов обозначена как М4 (рис. 5), но она в тот момент еще не сформировалась. Более точные оценки на основе этих двух источников из-за их погрешностей определить невозможно. В целом очертания ледника Терскол на туристической карте “Эльбрус” от 1933 г. совпадают с границами ледника на одноверстной карте 1887 г., но при этом на карте “Эльбрус” ледник показан более длинным. Скорее всего, это произошло из-за неправильной интерпретации границ ледника на карте военных топографов. Поэтому мы не используем эти данные для нашей реконструкции.

В 1884 г. ледник Терскол посетили Д.Л. Иванов [1884] и М. фон Деши [Déchy, 1905], а в 1881 г. – Н.Я. Динник [1884] и И.В. Мушкетов [1882]. В 1881 г., по словам Н.Я. Динника: “Если смотреть на ледник снизу, то он имеет вид прямоугольного треугольника с притупленными углами...” [Динник, 1884, с. 35]. По данным Д.Л. Иванова, левый край ледника в 1884 г. находился на высоте 2590 м (а правый – на 3500 м). По данным И.В. Мушкетова, в 1881 г. высота конца ледника Терскол составляла 2620 м, что лучше согласуется с нашей реконструкцией, в частности, с положением ледника, восстановленным по картине, приве-



**Рис. 5.** Морены, расположенные на предполях ледника Терскол (результаты датирования образцов дендрохронологическим и лишенометрическим методами).

1 – морены; 2 – места отбора образцов; 3 – максимальный диаметр лишайников; 4 – год образования первого кольца для дендрологических образцов.

денной в книге Г. Мерцбахера [Merzbacher, 1901]. В архиве Fondazione Sella (Биелла, Италия) находится еще одна фотография ледника, которая рассматривалась в этом исследовании (рис. 6). К сожалению, на этой фотографии, так же как и на других фотографиях М. фон Деши [Déchy, 1905], плохо виден конец ледника, поэтому восстановить его положение трудно. В своей книге Г. Мерцбахер [Merzbacher, 1901] приводит фотографию и рисунок ледника Терскол, но использовать их для построения реконструкции непросто, так как на рисунке нарушены пропорции, а фотография имеет плохое качество. В 1874 г. восхождение на Эльбрус совершал англичанин Ф.К. Грове с проводниками [Grove, 1875], но поднимались они по леднику Большой Азау и далее по южным склонам Эльбруса, поэтому о леднике Терскол он упоминает лишь вскользь.



**Рис. 6.** Фотография ледника Терскол М. фон Деши, 1884 г. [Déchy, 1905].

#### Колебания ледника по историческим, геоморфологическим и биоиндикационным данным

На рис. 5 представлена схема, показывающая расположение моренных валов ледника Терскол, и результаты лишенометрических и дендрохронологических исследований на его предполях. Подробности методики лишенометрического метода и кривая роста лишайников *Rhizocarpon geographicum sensu lato* описаны в [Бушьева, Соломина, 2012]. Примерная скорость роста лишайников – индикаторов возраста, судя по приведенной в этой работе кривой, составляет около 0.25 мм в год в первые три-четыре столетия [Бушьева, 2013]. В [Бушьева, Соломина, 2012] подробно описан метод дендрохронологического датирования, который авторы используют на предполях кавказских ледников. Время поселения сосен на моренах в исследуемом районе составляет 10–15 лет, их возраст на высоте отбора образцов (примерно 150 см) – около 10 лет. Эти поправки вносятся при оценке минимального возраста поверхности морен и других ледниковых форм рельефа и добавляются к числу годовых колец, установленных путем дендрохронологического анализа.

Исследования морен в долине ледника Терскол проводились авторами преимущественно на левом борту долины, где сосредоточена основная масса морен. Морены правого борта хорошо видны с левого берега и дешифрируются на космических и аэрофотоснимках. Основываясь на замечаниях Н.А. Буша [1914] и старых фотографиях, можно предполагать, что он описывал как морену напора вал M2. На нем произрастают лишайники, максимальный диаметр которых 24 мм, что соответствует возрасту порядка 70–80 лет. Более мо-



Рис. 7. Фотография ледника и г. Эльбрус Д.И. Ермакова, 1885 г. [Сысоев, 1900].

лодая морена *M1*, скорее всего, образовалась в 1920-х гг.: фотография В.Я. Альберга, сделанная в 1925 г., очень плохого качества, поэтому на ней нельзя ясно различить, есть ли морена около конца ледника, однако конец ледника в это время был приблизительно расположен в районе морены *M1*. На фотографии В. Селла (1889) отчетливо видны левая береговая морена и несколько отходящих от нее конечных морен. Судя по их расположению, это, вероятно, морены *M4\_1*, *M5*, *M6* и *M7*. На фотографии видно, что в 1889 г. к морене *M4* ледник подходил практически вплотную. Потому можно полагать, что морены *M4* образовались в первой половине 1890-х гг. [Мушкетов, 1898]. Лишайники, произрастающие на гребне морены *M4*, имеют максимальный диаметр 29 мм, что не противоречит приведенной выше оценке возраста морен по историческим данным. В нашем распоряжении также имеется фотография Д.И. Ермакова, которая была сделана в конце июля 1885 г. (рис. 7) [Сысоев, 1900]. На ней видны три морены правого борта долины (*M5*, *M6* и *M7*). Так как здесь отмечена морена *M5*, можно заключить, что ледник в 1885 г. был короче, чем в 1889 г. (по фотографии В. Селлы), т. е. образование морены началось в 1880-х гг. На морене *M5* произрастают лишайники диаметром до 45 мм, что соответствует возрасту приблизительно 140 лет.

Более древние морены до сих пор имеют свежий облик, на поверхностях морен *M6*, *M6\_1* и *M7* растет молодой лес (сосны возрастом около 100 лет). На фотографиях 1880-х гг. видно, что две внешние морены *M6* и *M7* были не задернованы и, очевидно, имели возраст не более нескольких десятилетий. Скорее всего, это морены середины или начала XIX в. На дистальной стороне морены *M6* на правом борту долины встречаются лишай-

ники размером до 48 мм. Возраст наиболее старого дерева, обнаруженного на правом борту долины в комплексе морен *M6*, *M6\_1*, *M7*, соответствует 1917 г., с поправкой на поселение и высоту бурения – 1892 г.

На левом борту долины Терскол моренный вал *M7* частично перекрыт селевыми отложениями. На его внешней стороне растет можжевельник, возраст которого 140 лет. Таким образом, минимальный возраст этого вала 160–180 лет, с учетом поправки на время поселения деревьев. Это согласуется с нашей оценкой возраста морены *M7* правого борта, сделанной по фотографиям (см. выше), и, по-видимому, эта морена датируется серединой XIX в. За мореной *M7* на левом борту долины находится еще несколько валов неясного происхождения (моренные или селевые валы), перекрытых селевыми отложениями. На них произрастает можжевельник возрастом до 240–280 лет. Это означает, что в течение последних трех столетий ледник Терскол не продвигался ниже этого уровня.

На правом борту долины ледника Терскол сохранился небольшой фрагмент невысокой морены *M8*, которая состоит из крупных валунов, поверхность которых сплошь покрыта лишайниками (*Rhizocarpon* spp.). Судя по облику, эта морена существенно старше предыдущей морены *M7*, хотя она отстоит от последней всего на 30 м.

В работе И.Б. Сейновой и Е.А. Золотарева [2001] указаны следующие размеры максимальных лишайников на моренах ледника Терскол: 17, 24, 30, 40, 51, 85, 115 мм. К сожалению, из-за отсутствия в этой работе пространственных привязок морен, трудно сравнить наши данные с этими, более ранними результатами лихенометрических исследований.

#### Изменения размеров ледника Терскол за последние 300 лет

Расчет основных параметров ледников (длина, площадь, высота конца ледника и объем) проводился с использованием программного продукта ArcGIS 10.0. Первые три параметра оценивались с помощью стандартных функций ArcMap 10.0 на основе рекомендаций, размещенных на сайте проекта GLIMS ([www.glims.org](http://www.glims.org)) [Raup, Khalsa, 2010]. Объемы ледников рассчитывались с помощью эмпирических зависимостей площади от объема, предложенных С. Адхикари и С.Дж. Маршаллом [Adhikari, Marshall, 2012], по формуле Мазо–Глазырина [Мачепет и др., 2013], а также по модели GlapTop, позволяющей реконструировать ложе ледника [Linsbauer et al., 2012]. Для удобства эта модель была запрограммирована в виде инструмента (toolbox) для ArcMap.

## Метрические характеристики колебания ледника Терскол

Год	Морена	Длина (по центр. линии), км	Высота конца ледника, м	Площадь, км <sup>2</sup>	Объем, км <sup>3</sup>		
					Метод С. Адхикари	Формула Ма- зо–Глазырина	Модель GlabTop*
Начало XIX в.	M7	7.409	2555	6.891	0.419	0.400	
–	M6	7.257	2589	6.844	0.416	0.391	
–	M5	7.179	2602	6.813	0.413	0.385	
1881	–	7.154	2609	7.415	0.457	0.418	
–	M4_1	6.927	2666	7.161	0.439	0.393	
1889	–	7.095	2640	7.257	0.447	0.406	
1880–1890-е	M4	7.093	2634	6.792	0.412	0.380	
1887	–	7.041	2640	6.747	0.409	0.375	
1910-е	M2	6.843	2688	6.656	0.402	0.362	
1920-е	M1	6.805	2695	6.645	0.401	0.359	
1925	–	6.696	2712	6.492	0.390	0.346	
1936	–	6.514	2841	6.439	0.387	0.335	
1948	–	6.514	2841	6.447	0.387	0.336	
1957	–	6.353	2980	6.376	0.382	0.325	
1971	–	6.335	2991	6.378	0.382	0.325	
1987	–	6.378	2955	6.346	0.380	0.325	
1997	–	6.323	2991	6.345	0.380	0.322	
2001	–	6.295	3000	6.203	0.370	0.314	
2007	–	6.269	3007	6.183	0.368	0.312	
2009	–	6.257	3007	6.153	0.366	0.310	0.393

\* Объем ледника по модели GlabTop рассчитывается только для 2009 года, на который есть цифровая модель рельефа.

В таблице приведены результаты расчетов основных метрических характеристик ледника Терскол на несколько временных срезов. Схема колебания конца ледника представлена на рис. 8.

Полученные результаты мы сравниваем с наиболее подробной схемой колебаний ледника Терскол, опубликованной В.Д. Пановым с соавторами [2008]. К сожалению, в связи с отсутствием точных пространственных привязок, мы не могли воспользоваться результатами В.Д. Панова для уточнения нашей реконструкции. Сравнение показывает, что кумулятивные кривые колебания длины ледника Терскол, построенные по нашим данным и данным В.Д. Панова [Панов и др., 2008], схожи между собой (рис. 9). Различаются они в 1910–1920-х, 1940-х и 1960-х гг. Для первого из этих периодов кривая В.Д. Панова основана на данных Н.А. Буша, однако это, по-видимому, недоразумение, так как в последний раз Н.А. Буш был на Кавказе в 1913 г. [Буш, 1914], т. е. ссылка на Буша для периода с 1926 по 1932 г., вероятно, ошибочна. Различия кривых в 1940-х гг. можно объяснить отсутствием точек для этого периода на кривой В.Д. Панова. Сокращение ледника, а затем его наступание на рубеже 1960-х гг. не выражено, в отличие от нашей кривой, что связано с отсутствием в нашем распоряжении материалов для пространственной привязки положения конца ледника в этот период.

В целом хронология наступаний и масштабы колебаний ледника Терскол за последние два-три столетия согласуются с колебаниями других ледников Кавказа [Бушueva, 2013]. Особенно явное сходство наблюдается у колебаний ледника Терскол и ледников Уллукам и Кашкаташ. При этом ледник Уллукам также принадлежит к системе Эльбруса, хотя в начале XX в. он отделился от основного ледяного поля, а долинный ледник Кашкаташ находится неподалеку от Терскола, но с ледниковой системой Эльбруса не связан. По нашим данным, ледник Терскол наступал в 1970–1980-х, 1920-х, 1910-х, 1880–1890-х гг., ледник Уллукам – в 1970–1980-х, первой трети XX в., 1870-х гг., ледник Кашкаташ – в 1970–1980-х, 1920-х, 1910-х, 1870–1880-х, 1840-х гг. [Бушueva, 2013]. По амплитуде колебаний ледники также похожи – за последнее столетие (с 1880-х) они сократились на 700–900 м [Бушueva, 2013]. Периоды активизации ледника Терскол в XIX–XX вв. примерно совпадают с датами наступаний ледника Большой Азау, хотя последний сократился гораздо сильнее, поскольку в конце XIX в. его конец был расположен очень низко, на высоте 2330 м. Существенные расхождения в динамике ледников Терскол и Большой Азау отмечаются в 1930-х гг., когда Большой Азау начал стремительно уменьшаться. Это неудивительно: ледник Большой Азау лежит в узком ущелье и

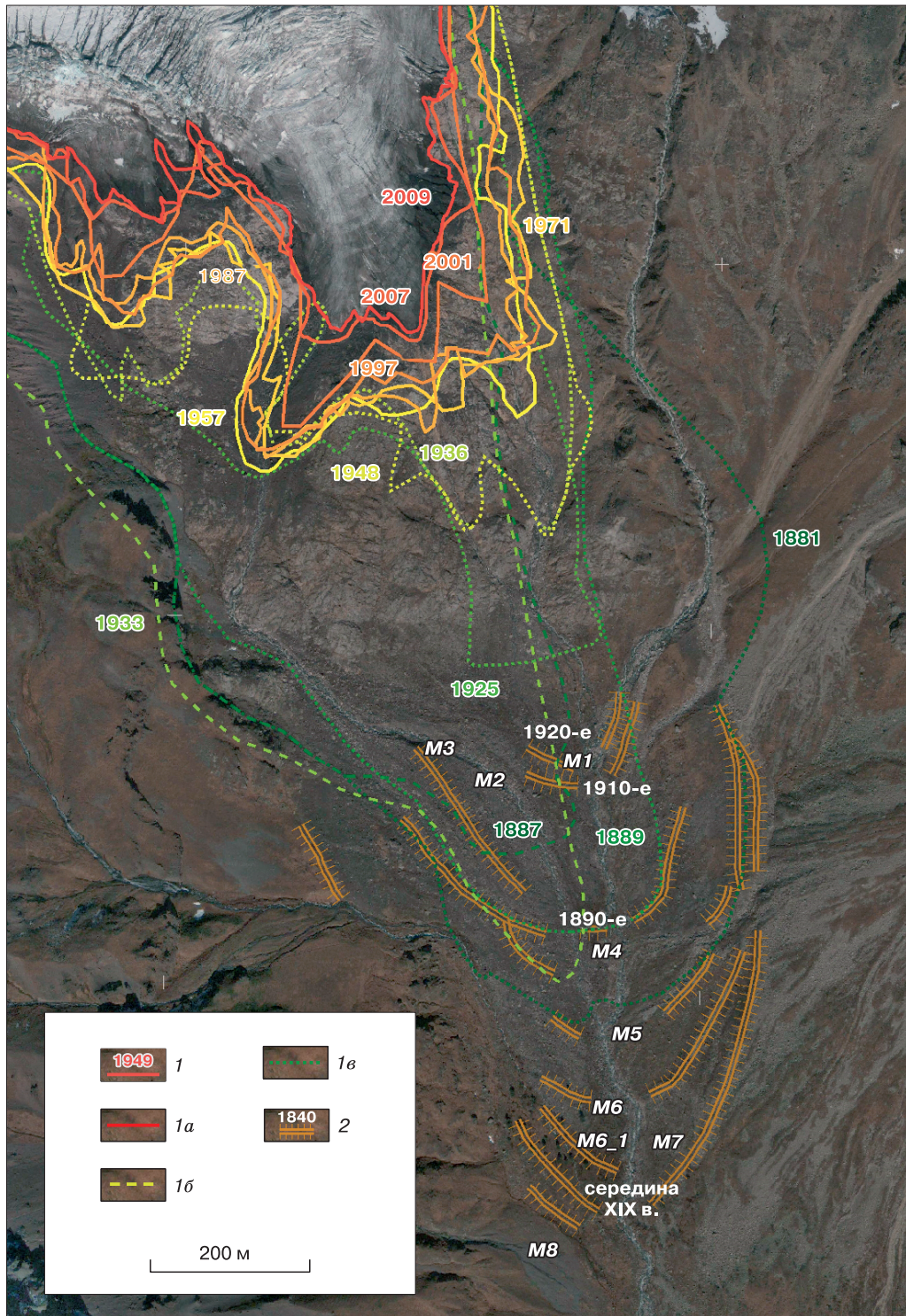


Рис. 8. Схема колебаний конца ледника Терскол.

1 – положение ледника на определенный год: 1а – по данным ДЗЗ, 1б – по картам и схемам, 1в – по фотографиям; 2 – морены и их возраст.

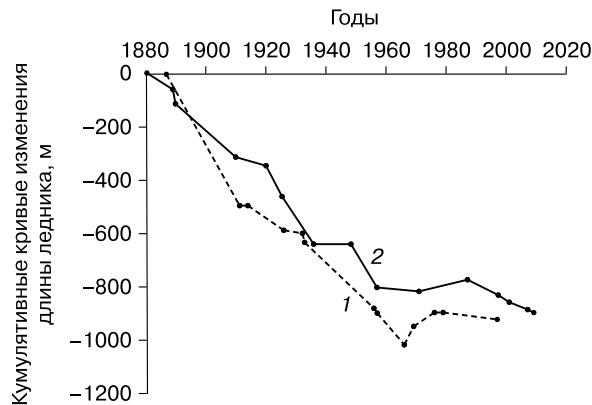


Рис. 9. Кумулятивные кривые колебания длины ледника Терскол по данным В.Д. Панова с соавт. [2008] (1) и настоящей статьи (2).

имеет существенно большие размеры, чем Терскол. Кроме того, он считается пульсирующим, а многие наступания пульсирующих ледников связаны с динамическими, а не с климатическими причинами.

### ВЫВОДЫ

1. С начала 1880-х гг. по 2009 г. ледник Терскол сократился по длине на 900 м, а язык ледника поднялся на 400 м.

2. По данным дистанционного зондирования Земли, ледник наступал с 1970–1980-х гг., что согласуется с данными инструментальных наблюдений.

3. По историческим источникам были датированы морены 1920-х, 1910-х, 1880–1890-х гг.

4. Ниже этих морен отмечены еще четыре вала, которые хорошо читаются в рельефе и имеют свежий облик. На фотографиях конца XIX в. эти валы не покрыты растительностью, что свидетельствует о том, что они образовались, скорее всего, не раньше XIX в. Внешний вал, по дендрохронологическим данным, имеет минимальный возраст 160–180 лет.

5. На внешней периферии этого моренного комплекса, на высоте 2550 м, что на 460 м ниже современного конца ледника (2009 г.), имеются неясные следы более древних морен, частично перекрытых селевыми отложениями. Датирование можжевельников, произрастающих на этих поверхностях, показывает, что в течение последних 300 лет ледник Терскол не продвигался ниже этих поверхностей. Таким образом, диапазон колебаний конца ледника Терскол за последние 300 лет не превышал 1150 м в плане и 460 м по высоте.

Авторы выражают глубокую признательность нашим коллегам В.Н. Михаленко, В.В. Мацков-

скому, В. Жомелли, Д. Брунштейну за содействие в сборе материалов для статьи, Ю.З. Мацковской и В.В. Грязновой за помощь в обработке дендрохронологической информации, а также А.Д. Олейникову за помощь в организации полевых исследований.

### Литература

**Альтберг В.Я.** О состоянии ледников Эльбруса и Главного Кавказского хребта в бассейне реки Баксан в период 1925–1927 гг. // Оттиск из Изв. ГГИ, 1928, т. 22, с. 79–89.

**Брюханов А.В.** О результатах обработки повторных фототеодолитных съемок 1956 и 1957 гг., выполненных на ледниках южного склона Эльбруса // Информ. сборник о работах по Международному геофизическому году, 1958, № 2, с. 73–82.

**Буш Н.А.** О состоянии ледников северного склона Кавказа в 1907, 1909, 1911 и 1913 годах // Известия Императорского Русского географического общества по общей географии, 1914, т. L, вып. V, IX, с. 461–510.

**Бушуева И.С.** Колебания ледников на Центральном и Западном Кавказе по картографическим, историческим и биоиндикационным данным за последние 200 лет: Дис. ... канд. геогр. наук. М., 2013, 169 с.

**Бушуева И.С., Соломина О.Н.** Колебания ледника Кашкатыш в XVII–XIX вв. по картографическим, дендрохронологическим и лихенометрическим данным // Лед и снег, 2012, т. 52, № 2, с. 121–130.

**Володичева Н.А., Войтковский К.Ф.** Эволюция ледниковой системы Эльбруса // География, общество, окружающая среда. Структура, динамика и эволюция природных геосистем / Под ред. В.И. Конищева, Г.А. Сафьянова. М., Изд. дом "Городец", 2004, т. I, с. 44–50.

**Динник Н.Я.** Горы и ущелья Терской области // Записки КОРГО, 1884, т. XIII, вып. 1, с. 1–48.

**Динник Н.Я.** Современные и древние ледники Кавказа // Записки КОРГО, 1890, т. XIV, вып. 1, с. 282–416.

**Золотарев Е.А.** Эволюция оледенения Эльбруса / Е.А. Золотарев. М., Науч. мир, 2009, 238 с.

**Иванов Д.Л.** Восхождение на Эльбрус // Изв. РГО, 1884, т. 20, вып. 5, с. 474–496.

**Иваньков П.А.** Оледенение Эльбруса // Изв. ВГО, 1960, т. 92, вып. 2, с. 124–135.

**Ковалев П.В.** Современное оледенение бассейна реки Баксан // Материалы кавказской экспедиции по программе МГГ. Харьков, Изд-во Харьк. ун-та, 1961, т. 2, с. 3–106.

**Костоусов В.Н.** Гляциогеографический очерк южного сектора оледенения Эльбруса // Информ. сборник о работах по Международному геофизическому году, 1959, № 4, с. 54–77.

**Мачерет Ю.Я., Кутузов С.С., Мацковский В.В., Лаврентьев И.И.** Об оценке объема льда горных ледников // Лед и снег, 2013, т. 53, № 1, с. 5–15.

**Мушкетов И.В.** Геологическая поездка на Кавказ в 1881 г. // Изв. РГО, 1882, т. 18, с. 112–138.

**Мушкетов И.В.** Исследование ледников России в 1897 г. // Изв. РГО, 1898, т. 34, вып. 5, с. 619–623.

**Мушкетов И.В.** Исследование ледников России в 1897 г. // Изв. РГО, 1899, т. 35, вып. 2, с. 228–230.

**Нефедова В.Б.** К истории исследования современного оледенения Эльбруса // Информ. сборник о работах по Международному геофизическому году, 1958, № 2, с. 5–22.

- Орешникова Е.И.** Ледники Эльбрусского района по исследованиям 1932–33 гг. // Кавказ: Тр. ледниковых экспедиций, 1936, вып. 5, с. 239–297.
- Панов В.Д.** Колебания ледников Северного Кавказа за XIX–XX столетия / В.Д. Панов, Ю.Г. Ильичев, А.Д. Салпагаров. Пятигорск, Северокавказ. изд-во МИЛ, 2008, 330 с.
- Подозерский К.И.** Ледники Кавказского хребта // Записки Кавказ. отделения Императорского Русского географического общества, 1911, кн. 29, вып. 1, 200 с.
- Сейнова И.Б.** Ледники и сели Приэльбрусья (Эволюция оледенения и селевой активности) / И.Б. Сейнова, Е.А. Золотарев. М., Науч. мир, 2001, 203 с.
- Соловьев С.П.** О состоянии ледников Эльбрусского района и к вопросу о причине их отступления // Изв. ГГО, 1933, т. LXV, с. 151–166.
- Соломина О.Н., Бушуева И.С., Кудерина Т.М., Мацковский В.В., Кудиков А.В.** К голоценовой истории ледника Уллукам // Лед и снег, 2012, № 1 (117), с. 85–94.
- Сысоев В.М.** Эльбрус // Изв. Общества любителей изучения Кубанской области, 1900, вып. 2, с. 75–196.
- Тушинский Г.К.** Гляциологические работы на Эльбрусе // Информ. сборник о работах по Международному геофизическому году, 1958, № 1, с. 3–28.
- Тушинский Г.К.** Оледенение Эльбруса / Г.К. Тушинский. М., Изд-во Моск. ун-та, 1968, 345 с.
- Фролов Я.И.** Из наблюдений оледенения Эльбрусского района // Победенные вершины. Ежегодник советского альпинизма. М., Госгеографиз, 1950, с. 258–273.
- Abich H.** Geologische Beobachtungen auf Reisen im Kaukasus um Jahre 1873. Moskau, Universitätsbuchdr. (Katkoff & co.), 1875, 138 p.
- Adhikari S., Marshall S.J.** Glacier volume-area relation for high-order mechanics and transient glacier states // Geophys. Res. Lett., 2012, vol. 39, 6 p., doi:10.1029/2012GL052712.
- Déchy M. von.** Kaukasus Reisen und Forschungen im kaukasischen Hochgebirge / M. von Déchy. Berlin, 1905, Bd. 1, 348 p.; Bd. 2, 346 p.
- IPCC, 2013:** Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. (eds). N.Y., Cambridge, Cambridge Univ. Press, 2013, 28 p.
- Freshfield D.W.** The Exploration of the Caucasus: V. 1 / D.W. Freshfield. London, New York, 1896, 278 p.
- Grove F.C.** The Frosty Caucasus / F.C. Grove. London, Longmans, Green and co., 1875, 342 p.
- Linsbauer A., Paul F., Haeberli W.** Modeling glacier thickness distribution and bed topography over entire mountain ranges with GlabTop: Application of a fast and robust approach // J. Geophys. Res., 2012, vol. 117, p. 1–17, F03007, doi: 10.1029/2011JF002313.
- Merzbacher G.** Aus den Hochregionen des Kaukasus. Wanderungen, Erlebnisse / G. Merzbacher. Leipzig, Duncker & Humblot, 1901, vol. 1, 958 p.; vol. 2, 964 p.
- Oerlemans J.** Glaciers and climate change / J. Oerlemans. Lisse, A.A. Balkema Publ., 2001, 148 p.
- Raup B., Khalsa S.J.S.** GLIMS Analysis Tutorial. 2010, 15 p. URL: [http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS\\_Analysis\\_Tutorial\\_letter.pdf](http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Analysis_Tutorial_letter.pdf) (дата обращения: 01.03.2015).

Поступила в редакцию  
25 марта 2015 г.