

Палеогляциология

УДК 551.324.63

Колебания ледника Кашкаташ в XVII–XXI вв. по картографическим, дендрохронологическим и лишенометрическим данным

© 2012 г. И.С. Бушуева, О.Н. Соломина

Институт географии РАН, Москва

irinasbushueva@gmail.com

Статья принята к печати 7 декабря 2011 г.

Дендрохронология, дистанционные методы, колебания ледников, лишенометрия, повторное фотографирование. Dendrochronology, glacier fluctuations, lichenometry, remote sensing, repeated photographs.

Реконструированы колебания долинного ледника Кашкаташ в Приэльбрусье за последние 400 лет. Проведено сравнение фотографий предполий ледника 1911, 1927, 1932 и 1939 гг., карт масштаба 1:100 000 (1890 г.) и 1:25 000 (1950-е годы), космических снимков 1971, 2005 и 2006 г., фотографий конца XX – начала XXI вв. и планов, составленных разными исследователями. На основе этих материалов реконструировано 14 положений языка ледника за последние 120 лет. Оценены линейное отступление и возраст многочисленных стадийных морен по геоморфологическим, дендрохронологическим и лишенометрическим данным. Согласно дендрохронологическим исследованиям, минимальный возраст внешней морены ледника Кашкаташ – 450 лет. На эту морену налегает вал, образовавшийся осенью 1839 – весной 1840 г., три более молодые морены датируются 1870–90-ми годами. В XX в. ледник наступал в 1910–20-х и в 1960–70-х годах. С середины XIX в. в горизонтальной проекции ледник сократился на 960 м, а отметка его переднего фронта повысилась на 260 м.

Колебания ледников – важный источник палеоклиматической информации, однако, чтобы использовать её для реконструкций и, в конечном счёте, для прогноза, необходимо иметь точные сведения о положении конца ледника для нескольких временных срезов. Именно такая информация получена нами для ледника Кашкаташ, что позволило реконструировать положение его конца на основе инструментальных, картографических, исторических и биоиндикационных данных.

Кашкаташ – типичный долинный ледник, расположенный в бассейне р. Адылсу в Приэльбрусье. Его длина – 4,6 км, площадь – 2,5 км², высота низшей точки – 2600 м [6]. Конец ледника лежит на высоком ригеле, а на дне долины и по её бортам хорошо выражены молодые моренные валы, покрытые сосновым и берёзовым лесом. Эти морены, в частности, и были предметом наших исследований.

Материалы исследования

В различных источниках ледник Кашкаташ имеет разные названия. Одно из наиболее ранних упоминается относится к 1911 г. Так, в первом Каталоге ледников Кавказа, созданном под редакцией К.И. Подозерского, этот ледник назван Кашха-тау [10]. В 1927 г. В.Я. Альтберг называет ледник Кашка-таш. В 1936 г. Е.И. Орешникова в своей статье использует название Кашкатау [8], которое А.С. Зюзин считает неправильным и пишет об этом в статье, опубликованной в

1949 г. [4]. Он называет ледник Кашка-таш [4, 5]. В Каталоге ледников Кавказа 1937 г. приведено название, сходное с тем, которое использовала Е.И. Орешникова, но с дефисом, т.е. Кашка-тау. В Каталоге ледников 1957 г. название ледника дано как Кашхатау [6]. Г. Бурмейстер использует «Kaschchagletcher» [19], а М. фон Деши – «Kaiacha Gl.» [24]. На карте масштаба 1:25 000 (1950-е годы) ледник назван Кашка-таш, а на карте масштаба 1:100 000 (1989 г.) – Кашкаташ.

Первое известное нам изображение ледника Кашкаташ дано на одноцветной карте Кавказа, составленной Корпусом военных топографов в 1880-х годах. В связи с крупным масштабом этой карты её засекретили и найти её не удалось. В нашем распоряжении была карта масштаба три версты в одном дюйме (1:210 000), опубликованная в Каталоге К.И. Подозерского 1911 г. [10]. На ней указано, что она составлена на основе гравюры 1899 г. Мы также имели карту горных перевалов Донгуз-Орун и Бечо, изданную в 1933 г. в Ростове-на-Дону, которая также составлена по результатам съёмки Корпуса военных топографов 1880-х годов, но в масштабе 1:100 000. Ледник Кашкаташ на ней изображён не очень подробно, но эта карта всё-таки даёт представление о том, что в конце XIX в. ледник оканчивался недалеко от берега р. Адылсу. Использовалась нами и карта масштаба 1:25 000, созданная в 1957 г.

В XIX и начале XX вв. ледник посетили иностранные путешественники. В этот период были составлены

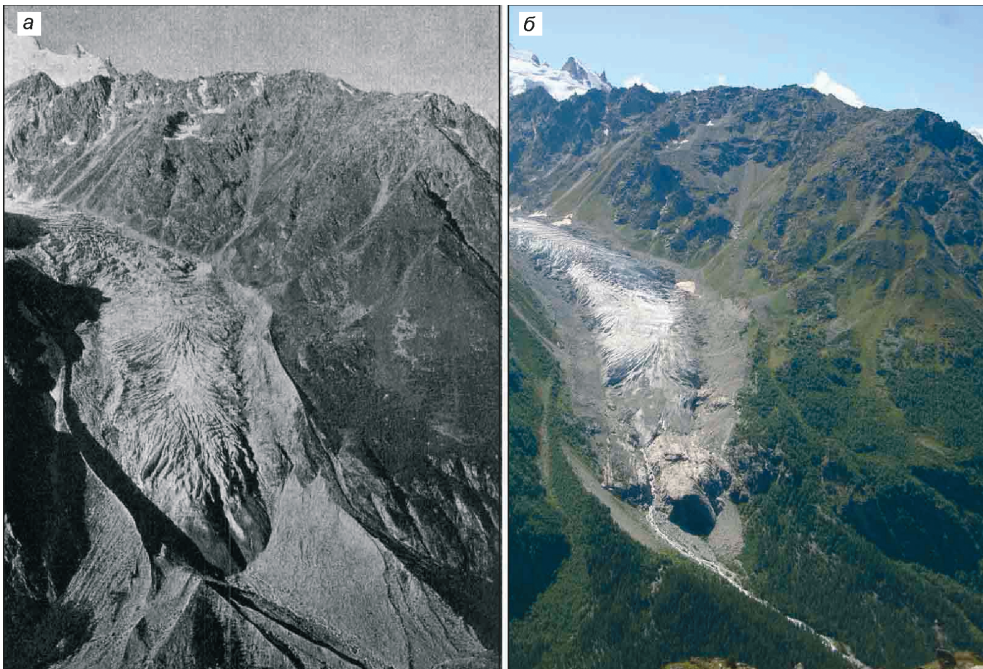


Рис. 1. Ледник Кашкаташ: *a* – 1911 г., фото Г. Бурмейстера [19]; *б* – 2009 г., фото И.С. Бушуевой

Fig. 1. Kashkatash Glacier: *a* – 1911, photo by H. Burmeister [19]; *б* – 2009, photo by I.S. Bushueva

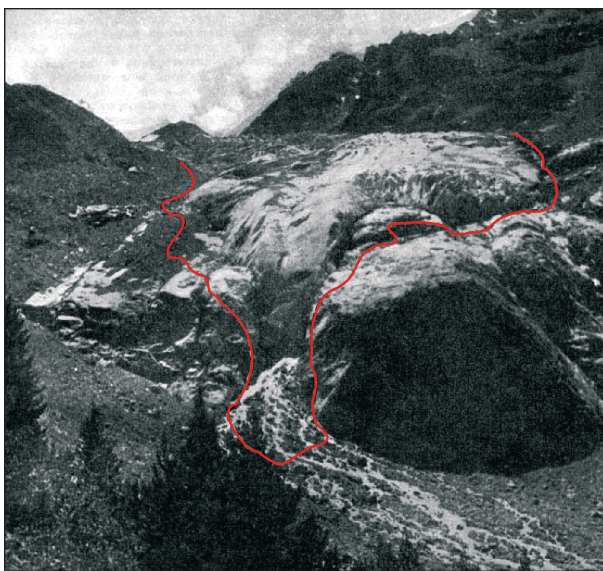


Рис. 2. Ледник Кашкаташ. 1956 г., фото А.С. Зюзина [5]. Пунктирной линией показана граница ледника в 1949 г.
Fig. 2. Kashkatash Glacier. 1956, photo by A.S. Zuzin [5]. The border of the glacier in 1949 is shown as a dotted line

карты Г. Мерцбахера (1:140 000, 1901 г.) [23], Д.В. Фрешфильда (1:210 000, 1896 г.) [20] и М. фон Деши (1:400 000, 1905 г.) [24]. Правда, все эти карты – среднемасштабные, поэтому с их помощью нельзя определить границы ледника с необходимой точностью.

Важнейший источник информации – прекрасный фотоснимок ледника Кашкаташ, сделанный в 1911 г. Г. Бурмейстером (рис. 1) [19]. На нём видны конец ледника до поворота долины, а также свежие, совершенно

незадернованные береговые и конечные морены по обоим бортам долины. Краткая характеристика и фотография ледника Кашкаташ приведены в статье В.Я. Альтберга, вышедшей в 1928 г. [1]. Е.И. Орешниковой опубликована статья, в которой дано описание ледника по результатам исследования 1932–1933 гг. [8]. У нас была также фотография Е.Н. Лукашевой 1932 г. В 1933 г. ледник Кашкаташ посетил В. Гейброк, однако его схема недостаточно подробна, чтобы судить о размерах ледника в это время.

С 1947 г. ледник исследовал А.С. Зюзин, который своих статьях [4, 5] приводит схемы, фотографии, профили, показывающие изменение ледника в исследуемый период (рис. 2). В 1950-х годах в долине ледника Кашкаташ работала экспедиция Харьковского государственного университета под руководством П.В. Ковалева. В его статье много фотографий ледника, сделанных в разные годы и полезных для нашего исследования [7]. Дается и схема конца ледника на 1958 г., которая, правда, из-за отсутствия координатной сетки и масштаба не может быть привязана. Есть также слайд, сделанный К.К. Кузьминым в 1983 г., позволяющий получить представление о положении конца ледника в это время.

На территории Приэльбрусья в 1957, 1965 и 1987 гг. проводились аэрофотосъёмки, результаты которых (три аэрофотоснимка) использованы в данной работе. Снимки сделаны 10 августа 1957 г., в августе 1965 г. и 25 сентября 1987 г. Пространственное разрешение электронных копий равно соответственно 2, 1 и 3 м. На территорию долины р. Адылсу есть серия космических снимков. Мы использовали снимки, полученные съёмочными системами CORONA 1971 г., ASTER 2005 г. и EROS 2008 г. Следует отметить, что все космические снимки сделаны в конце периода абляции.

Материал для дендрохронологических исследований отбирался в августе 2008 и 2009 гг. на моренах и селевых отложениях предполий ледника Кашкаташ. Использовалось керновое бурение, в результате которого отобрано 92 образца. На моренах, селевых генерациях разного возраста и зандровых участках выполнена также лихенометрическая съёмка. Координаты точек отбора образцов фиксировались с помощью GPS-приёмника (Garmin GPSmap 60Cx).

Методы исследования

Картографические методы. Космические снимки обрабатывались на пунктах приёма и передачи информации, поэтому они имели географическую привязку в проекции UTM (зона 38) на эллипсоид WGS-84 и не требовали дополнительной обработки.

Пространственная привязка и ортотрансформирование аэрофотоснимков проводилось в программе Erdas Imagine 8.5. Параметры камер, с помощью которых делались аэрофотоснимки, неизвестны, поэтому использовался тот же метод преобразования снимков, что и для снимков Landsat. Для этого выбирались точки (приблизительно 25), хорошо читаемые на аэрофотоснимке, карте масштаба 1:25 000 (1950-х годов) и космических снимках (ASTER 2005 г., EROS 2008 г.), и на их основе делалась привязка. Несмотря на то, что у нас была цифровая модель рельефа (ЦМР), полученная со спутника TERRA (съёмочная система ASTER) и датированная 2005 г., мы дополнительно оцифровали топографическую карту масштаба 1:25 000 и создали собственную ЦМР, используя TIN-модель. Это было необходимо, так как за 50 лет ледник изменился. Кроме того, пространственное разрешение и точность по высоте созданной нами ЦМР в несколько раз лучше, чем у ЦМР 2005 г. С помощью созданной ЦМР выполнено ортотрансформирование аэрофотоснимков, которые стали пригодными для дальнейшей работы. Ортотрансформирование снимков – сложный процесс, поэтому для повышения точности трансформирования отдельно привязывались территория, соответствующая концу ледника, и территория, отображающая его предполья. Это было необходимо ещё и потому, что ледник имеет крутой ригель, который плохо отображается на ЦМР.

Большинство старых карт – мелкомасштабные, однако для нашей работы пригодны карты, масштаб которых не мельче 1:100 000. К ним относится карта горных перевалов Донгуз-Орун и Бечо 1933 г. Она имеет географические координаты, масштаб и проекцию, которая указана на полях. Было измерено и нанесено на карту расстояние от конца ледника до р. Адылсу. Также выполнены пространственная привязка и трансформирование этой карты в проекцию UTM (зона 38). Однако параметры эллипсоида, указанного на карте, неизвестны, и он был заменён на наиболее универсальный эллипсоид WGS-84. Карта и современный снимок оказались смещены относительно друг друга, поэтому для более точной простран-

ственной привязки использовали характерные точки рельефа. В результате граница ледника, изображённая по данным измерений, описанным ранее, совпала с границей ледника на привязанной карте.

После обработки картографических материалов, т.е. приведения их к виду, когда элементы рельефа совмещаются на разновременных изображениях, сделана оцифровка границ языка и измерены отступления/наступления ледника в горизонтальной проекции в соответствии с инструкциями GLIMS (<http://glims.org>). В последние годы для определения отступления/наступления ледников успешно используется метод парных фотографий, выполненных с одной и той же точки [25]. В 2009 г. мы побывали на месте, с которого в 1911 г. Г. Бурмейстер сделал свою фотографию (см. рис. 1). При совмещении этих парных снимков по характерным точкам рельефа хорошо видны изменения ледника и его предполий.

Дендрохронологический метод. Судя по скорости колонизации современных морен, на освободившихся от льда территориях первые сосны в условиях Приэльбрусья появляются через 10–20 лет. Поэтому для определения минимального возраста морен и зандровых поверхностей к возрасту дерева, определённого методом дендрохронологии, прибавляется 15 лет (так называемый «эксцезис»). Поскольку образцы на дендрохронологические исследования отбирались на высоте 50–70 см от поверхности земли, вводилась поправка на время, которое необходимо дереву для достижения такой высоты. Для сосен в данных условиях это около 5–10 лет. При бурении редко удаётся попасть буром в сердцевину дерева, поэтому необходима поправка, учитывающая число колец, оставшихся до сердцевины. Если бур прошёл близко от сердцевины и у колец наблюдается уже заметный изгиб, то эта ошибка оценивалась по величине данного изгиба. Если бур не попал в середину дерева или середина была повреждена гнилью, то ввести поправку невозможно и в этом случае определялся лишь минимальный возраст дерева.

Ширина годовых колец измерялась в лабораторных условиях с точностью до 0,01 мм. Затем с помощью программы COFECNA выполнялось перекрёстное датирование образцов. На основе этих измерений с помощью программы ARSTAN строилась сводная хронология ширины колец. Возраст большинства дендрохронологических образцов определён с помощью перекрёстного датирования. Исключение составляет образец Kash 41, содержащий около 400 годовых колец, поэтому его минимальный возраст указан как «старше 1600 г.».

Лихенометрический метод. В основу этого метода положено предположение о связи диаметра корковых лишайников и возраста поверхности, на которой они растут [18]. Лихенометрическая съёмка на моренах и зандровых поверхностях ледника Кашкаташ велась по стандартной методике [14]. На каждой моренной гряде определяли диаметры самых крупных для данной площадки особей корковых лишайников *Rhizocarpon geographicum sensu lato*. Выделить отдельные виды для этой группы лишайников в полевых условиях трудно, кроме

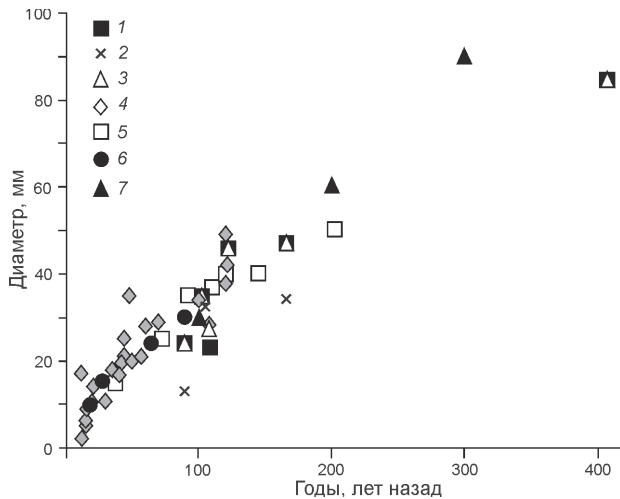


Рис. 3. Кривая роста лишайников, построенная на основе реперных точек, полученных разными исследователями в разные годы:

1 – Соломина, Бушуева (Кашкаташ, правый борт); 2 – Соломина, Бушуева (Кашкаташ, левый борт); 3 – Соломина, Бушуева (Кашкаташ, максимальные диаметры); 4 – Золотарев, Сейнова [12]; 5 – Соломина, Жомелли [22]; 6 – Голодковская (Безенги) [13]; 7 – Турманина [15]

Fig. 3. Growth curve of lichens created on the base of tetrad points from different researchers in different years:

1 – Solomina, Bushueva (Kashkatash, right bank); 2 – Solomina, Bushueva (Kashkatash, left bank); 3 – Solomina, Bushueva (Kashkatash, maximum diameter); 4 – Zolotarev, Seinova [12]; 5 – Solomina, Jomelli [22]; 6 – Golodkovskaya (Bezengi) [13]; 7 – Turmanina [15]

того, кривые роста построены для всей группы «жёлтых ризокарпонов» без подразделения на виды. Общее число замеров лишайников (по одному на каждом валуне, диаметром не менее 50 см) составляло несколько десятков особей, по возможности до ста. Для определения возраста морен на основе лихенометрической съёмки использовалась кривая роста, построенная на основе реперных точек, полученных разными исследователями в разное время [12–15, 22] (рис. 3).

Результаты исследования

Колебания ледника Кашкаташ по картографическим и фотографическим источникам в конце XIX – начале XXI вв. В 2009 г. во время нашего посещения ледник Кашкаташ оканчивался плоской двузязычной лапой на бараньих лбах. Его положение установлено визуально путём сравнения фотографии 2009 г. с космическим снимком 2008 г. Положение 1987 г. определено по аэрофотоснимку. С 1987 по 2008 г. правая часть ледника сократилась на 135 м.

При сравнении положения конца ледника в 1971 и 1987 гг. установлено, что между этими датами ледник наступал. Это подтверждает и слайд 1983 г., сделанный с противоположного борта долины р. Адылсу. На нём видно, что язык оканчивается крутым ледяным уступом, что служит признаком наступающего ледника.

Правая его часть заканчивалась в расщелине ригеля, значительно ниже, чем левая, которая полностью располагалась на ригеле. Под ригелем с левой стороны видно скопление льда или снега. Слайд сделан осенью, о чём свидетельствует пожелтевшая на деревьях листва, поэтому, скорее всего, это – либо возрождённый ледник, либо перелетовывающий снежник.

В 1965 г. по сравнению с 1971 г. правая часть ледника была короче левой на 25 м, а левая, наоборот, несколько длиннее. В 1965 г. ледник был симметричен и его конец находился на ригеле. Судя по аэрофотоснимку 1957 г., левая часть ледника была длиннее на 56 м, чем в 1965 г. В таблице для 1949, 1951 и 1956 гг. положение конца ледника даётся по материалам схемы, составленной А.С. Зюзиным [5] на основе крупномасштабной повторной съёмки конца ледника с одних и тех же пунктов геодезической основы. К сожалению, в его статье не указано, какие приборы использовались при съёмке, поэтому нельзя оценить её точность. А.С. Зюзин приводит фотографию конца ледника 1956 г. и показывает на ней положение конца ледника в 1949 г. (см. рис. 2). Однако схема не соответствует фотографии 1956 г. После пространственной привязки схемы и сопоставления её с космическим снимком, сделанным съёмочной системой EROS, получается, что, согласно схеме А.С. Зюзина, в 1956 г. правая часть ледника лежала в долине. Однако на фотографиях А.С. Зюзина и П.В. Ковалева того времени видно, что это не так: ледник правой лапой спускается с ригеля по расщелине, но не достигает основания уступа. Для 1949 г. положение ледника на схеме А.С. Зюзина и по фотографии (см. рис. 2) согласуются. Таким образом, можно сделать вывод, что положение конца ледника на 1949 г. на схеме показано достаточно точно, а положение на 1956 г. не соответствует действительности. Именно поэтому указываемые в таблице величины отступления ледника по данным А.С. Зюзина в известной мере условны.

В нашем распоряжении есть данные о положении ледника в 1930-х годах: фотографии 1932 г. Е.Н. Лукашевой и 1939 г. (автор не указан) [7]. По ним видно, что в это время правая часть языка спускалась в долину, а левая располагалась на ригеле. Причём на фотографии 1932 г. в левой части на ригель спускаются два узких язычка, которых уже нет на фотографии 1939 г. У подножия ригеля в 1930-х годах существовал возрождённый ледничок, который образовывался за счёт обвалов льда ледника Кашкаташ. Его описывали А.С. Зюзин и П.В. Ковалев.

По данным Е.И. Орешниковой, в 1932 г. на дне долины в 110 м от конца ледника лежала «самая новая конечная морена» [8, с. 285]. На фотографии этого года по правому борту хорошо видны две свежие моренные гряды недалеко от конца ледника. Они также идентифицируются на снимке 2009 г. Используя снимок 1932 г. и расстояние 110 м до внутренней морены, указанное Е.И. Орешниковой, на схему было примерно нанесено положение ледника в 1932 г. (рис. 4).

На фотографии 1927 г., сделанной В.Я. Альтбергом, видно, что конец ледника был существенно иным, чем в

Колебания длины ледника Кашкаташ

Годы	Длина ледника, м		
	центральная часть	левый	правый
Начало 1840-х	5925	Язык ледника не был раздвоен, поэтому данные только для центральной части	
1870–80-е	5843		
	5802		
	5722		
1890	5634		
1911	5416	5391	5455
1927	5361	5332	5389
1932	5201	5186	5323
1939	5194	5167	Нет свед.
1949	5104	5128	5221
1951	5095	5095	5229
1956	5075	5074	5204
1957	5084	5120	5159
1965	5067	5103	5109
1971	5075	5084	5135
1987	5103	5097	5178
2006	4951	5054	5043
2008	4946	5008	5022

1930-х годах: он заполнял двуязычной лапой всю плоскую часть долины под ригелем, сам ригель угадывается подо льдом в виде перепада высот, но нигде не обнажается, за исключением самой левой части. В описании к фотографии В.Я. Альтберг указывает, что «справа и внизу языка расположена система морен в виде весьма значительного нагромождения обломков скал и камней без системы и порядка» [1]. Скорее всего, эти морены соответствуют моренам на фотографии 2009 г. На фотографии В.Я. Альтберга видно также, что ледник, хотя он и больше, чем в 1930-е годы, не наступает, так как у него плоский язык. В 2009 г. была сделана повторная фотография ледника с того места, откуда в 1911 г. фотографировал Г. Бурмейстер (43,22837° с.ш., 42,69517° в.д.) (см. рис. 1). Мы наложили эти фотографии, совместив характерные точки рельефа, и установили положение ледника в 1911 г. На современных снимках оно примерно маркируется границей молодого соснового и лиственного леса. На снимке 2009 г. на правом борту долины, примерно в районе конца ледника 1911 г., отчетливо видны две незаросшие конечные морены. К сожалению, на снимке Г. Бурмейстера 1911 г. здесь лежит тень от береговой морены, поэтому установить, сформировались ли к 1911 г. на правом борту эти морены или одна из них, нельзя. Левый борт долины на снимке 1911 г., напротив, виден очень хорошо. Чётко видно, что никаких моренных валов вблизи конца языка нет. Три небольшие гряды длиной в несколько десятков метров, расположенные в центре зандра, видимо, представляют собой следы небольших осцилляций, возможно годовых. В нижнем правом углу снимка на внутренней стороне задернованной береговой морены хорошо видны 4–5 свежих моренных вала.

Положение конца ледника в 1890-х годах установлено по карте горных перевалов Донгуз-Орун и Бечо. Фотографий, карт и описаний ледника Кашкаташ для более раннего периода нет, поэтому при реконструкции его положения до 1890 г. и датировании его наступания использовали геоморфологические и биоиндикационные методы.

Колебания ледника Кашкаташ по геоморфологическим и биоиндикационным данным. Моренные валы, чётко выраженные вблизи бортов долины, на её дне «распластываются», а в лесу превращаются в «каменные реки», поэтому сопоставить гряды, относящиеся к одному периоду наступания или стационарного состояния ледника, но расположенные на разных бортах долины, трудно. Это связано главным образом с их плохой сохранностью: на дне долины они размываются потоками воды с ледника. Кроме того, вдоль бортов долины и береговых морен ледника Кашкаташ часто сходят селевые потоки. Приведём описание морен отдельно для правого и левого бортов долины, а также их лихенометрические и дендрохронологические датировки.

Правый борт. Несмотря на то, что поверхность зандра под ригелем освободилась ото льда более 50 лет назад, она имеет свежий вид и практически не освоена растительностью. На правом борту долины, между современным концом ледника и внутренним склоном самой высокой береговой морены, заметны четыре яруса свежих береговых морен, однако лишайников на них нет, по-видимому, из-за нестабильности этих поверхностей. Одна из этих морен видна в виде более светлой поверхности на снимке 1932 г. В осевой части долины данные морены представляют собой 3–4 гряды развалов крупных валунов. Только внешняя из них начинает зарастать берёзой и ивой, она же прослеживается вверх по склону в виде зеленоватого уровня береговой морены. Возраст этой поверхности датируется между 1927 и 1932 гг. Разрыв в возрасте этих четырёх морен невелик, что следует из их близости в пространстве, схожести свежего облика и диаметров максимальных лишайников, которые составляют на дне долины 22 мм.

На фотографии 2009 г. видны два уровня морен — M1R и M2R с размерами лишайников соответственно 24 и 23 мм. На этих моренах уже растут сосны, возраст которых равен 50–70 годам (1961 и 1942 гг. — возраст поселения сосен дан с поправкой). По историческим данным (см. ранее), морен M1R и M2R в 1911 г. ещё не было, но ледник находился близко от их будущего положения. За этими моренами лес становится гуще и на дне долины различаются несколько моренных генераций в виде «каменных рек» в лесу, однако в рельефе они почти не выражены. В прибортовой части долины выделяются три вала (M3–M5) с максимальными диаметрами лишайников *Rhizocarpon* 30, 35 и 40 мм соответственно. Средняя морена M4R с внешней стороны имеет ступень, которая, видимо, соответствует отдельной стадии наступания ледника почти такого же масштаба, как и M4R. Все эти морены старше 1890 г. Возраст деревьев на них (M3–M5) постепенно увеличива-

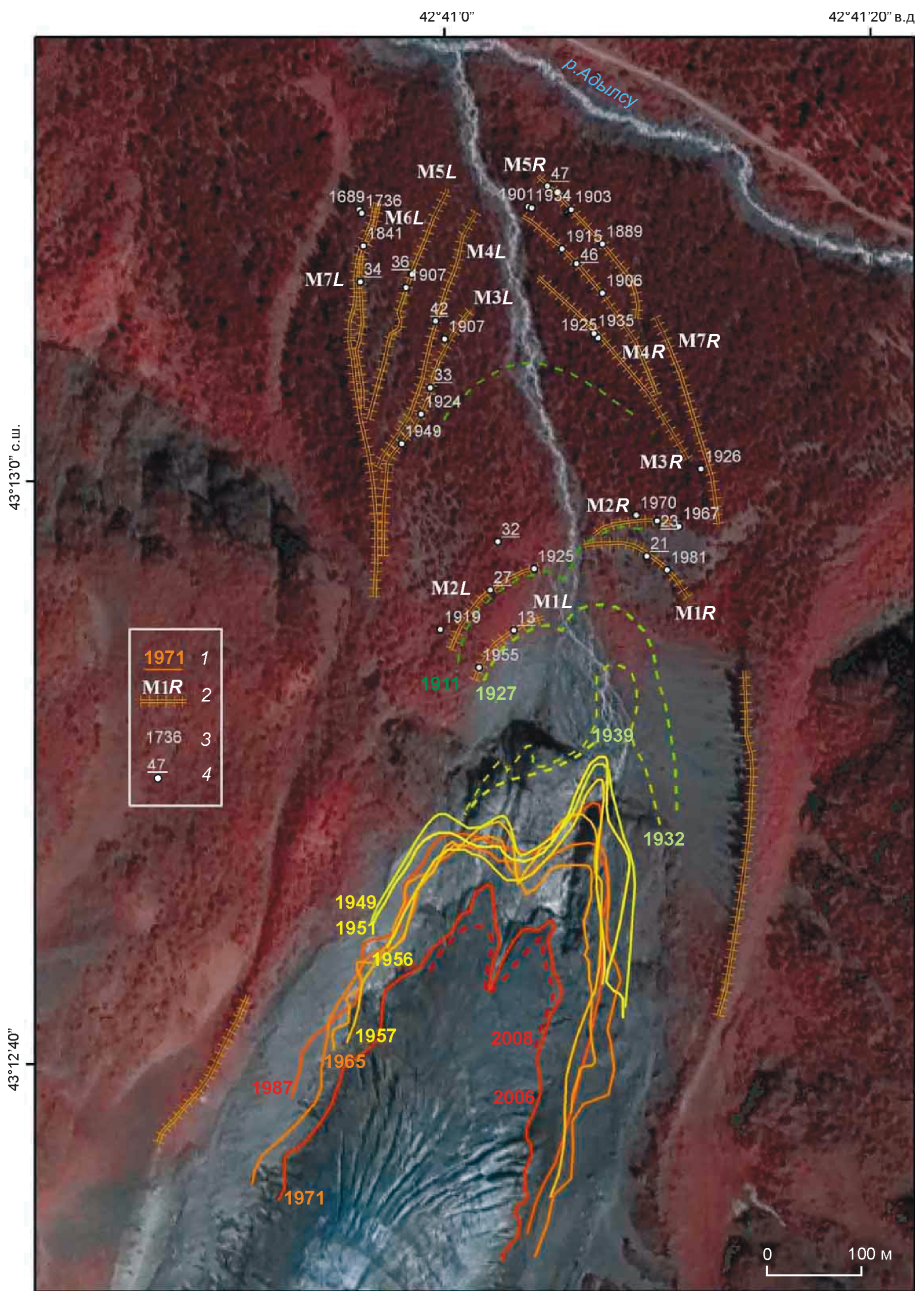


Рис. 4. Схема колебания конца ледника и расположения морен на предполях ледника Кашкаташ: 1 – положение ледника в указанный год; 2 – моренная гряда и её название; 3 – места отбора образцов; 4 – год образования первого годичного кольца; 5 – максимальный диаметр лишайников

Fig. 4. Plan of fluctuations of the glacier tongue and positions of the moraines on the glacier forefield: 1 – end of glacier tongue in this year; 2 – moraine and its name; 3 – place of sampling; 4 – age of first tree-ring in a core; 5 – maximum diameter of lichens on a surface

ется, и, согласно дендрохронологическим данным, они датируются 1906, 1886, 1869 гг. соответственно. Очевидно, что минимальный возраст M3R при этом отличается от истинного как минимум на 16 лет. Оценить ошибку для двух других морен невозможно из-за отсутствия независимых данных об их возрасте.

Левый борт. На левом борту долины р. Кашкаташ идентифицировать аналоги правобережным валам можно с некоторой долей условности, поскольку морены правого и левого бортов не смыкаются на дне долины. В верхней части долины, у ригеля, положение морен отражает асимметричность конца ледника (правая часть ниже левой), но ниже положения конца ледника 1911 г. эти различия нивелируют-

ся и морены становятся симметричными относительно продольной оси долины.

На левом борту долины, под ригелем, на морене M1L был установлен возраст сухой укоренённой сосенки (Kash34): 1935 г. – минимальный возраст экспонирования поверхности с учётом поправки. Лишайников на этой поверхности мало (19 шт.), и диаметр их не превышает 13 мм. На фотографии 2009 г. эта морена видна на границе незадернованной поверхности и молодого берёзового леса. Сопоставляя положение этой морены с фотографиями ледника первой трети XX в., можно предположить, что она определяет стадию наступания ледника в 1920-х годах. Этому не противоречат и дендрохронологические данные. Следующая генерация –

M2L – представлена незадернованным валом, поросшим берёзовым лесом с соснами. Максимальный размер лишайников здесь – 27 мм, а самое старое дерево датировано 1905 г. (Kash30). В 1911 г. на снимке Г. Бурмейстера эта поверхность уже свободна ото льда, но в 1890-х годах она ещё была покрыта ледником, о чём свидетельствует карта горных перевалов Донгуз-Орун и Бечо, т.е. дендрохронологическая датировка укладывается во временной диапазон 1890–1911 гг.

Возраст морен левого борта – старше 100 лет. Как и на правом борту, они покрыты густым лесом и плохо идентифицируются на современных изображениях и в рельефе. Однако на снимке Г. Бурмейстера четыре стадии (M3L–M6L) свежих незадернованных валов видны очень хорошо (см. рис. 1). Они расположены примерно на одинаковом расстоянии друг от друга, и их формирование разделяют небольшие промежутки времени. Эти валы угадываются и на аэрофотоснимках 1965 и 1987 гг., когда лес был заметно реже. По максимальным диаметрам лишайников (от 33 до 36 мм) морены почти не различаются, только на морене M4L они несколько больше (42 мм). Согласно дендрохронологическим данным, минимальный возраст этих морен также примерно одинаков – около 100 лет.

Морена M7L по возрасту отличается от всех остальных морен. Максимальный диаметр лишайников здесь достигает 85–120 мм. На дистальной стороне внешнего вала растут старые деревья, которые поселились здесь в 1689 и 1736 гг. На этой же поверхности обнаружено сухое дерево (Ksh 41) с числом годовичных колец 400. Однако его не удалось датировать с помощью метода перекрёстной датировки. С большой вероятностью это дерево росло на той же морене, где и обнаружено. Если это так, то минимальный возраст морены – 400 лет.

Образец Ksh 24 взят с дерева, поселившегося на проксимальной стороне склона этой морены, около 1778 г. Позже дерево было наклонено обломками, падающими с морены, которая формировалась в более молодую стадию наступания ледника – M6L. Следы этой стадии хорошо видны в виде вала из крупных валунов. Этот молодой вал на фотографии Г. Бурмейстера прослеживается в виде тонкой «линии», параллельной самой старой морене. При сравнении ширины колец образца Ksh 24 (осреднённые величины приростов для двух кернов) со сводной хронологией ширины колец сосны для долины Кашкаташ в целом (рис. 5) установлено, что их максимальное расхождение относится к осени 1839 – весне 1840 гг., когда у сосны Ksh 24 резко уменьшилась ширина колец, в то время как в сводной хронологии этого не произошло. В это время возраст дерева был около 70 лет, т.е. дерево было взрослое и оно не просто согнулось под ударами валунов, а его корневая система была повреждена, что, скорее всего, и вызвало угнетение, продолжавшееся примерно десятилетие. Этот уникальный образец позволяет определить точное время наступания ледника – начало 1840-х годов.

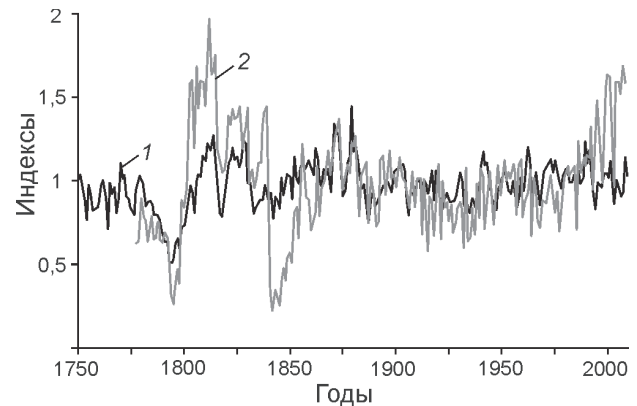


Рис. 5. Ширина годовичных колец двух кернов образца Ksh 24, наложенных на сводную хронологию ширины годовичных колец сосны для долины ледника Кашкаташ:

1 – сводная хронология ширины годовичных колец сосны для долины ледника Кашкаташ; 2 – керн образца Ksh 24

Fig. 5. Width of annual rings of two cores of sample Ksh24, superimposed on summary chronology of width of annual rings of pine for Kashkatash Glacier valley:

1 – summary chronology of width of annual rings of pine for Kashkatash valley; 2 – core of sample Ksh 24

Обсуждение

Точность определения границ ледника. Использованные в работе картографические материалы были разной детальности (от десятков метров до 1 м), поэтому и точность полученной с их помощью информации различна: для космического снимка CORONA точность определения границ ледника – 15 м; для аэрофотоснимков максимальное расхождение в положении характерных точек рельефа – 6 м; для старых карт ошибка не превышает первых десятков метров. Эти оценки получены подсчётом расхождений в местоположении восьми характерных точек рельефа. Оценить точность реконструкции на основе старых фотографий невозможно, поэтому на нашей схеме положения конца ледника в 1911–1930-х гг. изображены пунктирной линией с достаточной мерой условности (см. рис. 4). Более точные данные позволяет получить парная фотография, однако в этом случае необходимо учитывать параметры съёмочных систем. При детальном рассмотрении наложенных друг на друга парных снимков отмечаются незначительные расхождения, преимущественно на краях снимка. Они обусловлены различными фокусными расстояниями фотоаппаратов: Г. Бурмейстер использовал съёмочную систему с фокусным расстоянием 220 мм (указано под фотографией), а наш фотоаппарат имел фокусное расстояние 35 мм. Различие в фокусном расстоянии фотоаппаратов даёт в данном случае максимальную ошибку в плане, равную 15 м.

Точность датирования при помощи дендрохронологии. Дендрохронологический метод датирования позволяет определить минимальный возраст поверхности по числу годовичных колец у деревьев, растущих на ней. Поправки (на скорость заселения, число недостающих

колец, высоту отбора образца и др.), необходимые для перехода от минимального возраста морены к истинному, вносят элемент неопределённости, так как основаны на среднестатистических оценках, которые могут существенно отличаться от индивидуальных случаев. В частности, скорость колонизации значительно изменяется во времени. Важную роль играет и субстрат: неустойчивая поверхность свежих морен, содержащих ледяное ядро, осваивается гораздо медленнее задровых поверхностей, не размытых ледниковыми водами. Это хорошо видно на примере предполий ледника Кашкаташ. Поверхности береговой морены на правом борту долины, возраст которых по историческим данным составляет около 100 лет, согласно материалам дендрохронологии, имеют минимальный возраст всего около 60 лет (M2R – 1942 г.). Вместе с тем время формирования задровых поверхностей и невысоких стабильных морен левого борта по дендрохронологическим данным близко к историческому. В одном случае (образец Kash 30) при введении всех поправок возраст морены M2L на левом борту по дендрохронологическим исследованиям оказался даже несколько завышенным (1905 г. для поверхности около 1911 г.). Исследования показали, что в условиях Приэльбрусья в результате дендрохронологического изучения получают заниженный возраст морен по сравнению с истинным, поэтому определить этим методом возраст поверхности можно с точностью до первых десятилетий. Принципиально иначе обстоит дело с датированием при помощи деревьев, повреждённых наступающим ледником или другим физическим агентом. В этом случае время повреждения можно установить с точностью до года, как это было сделано для морены M6L.

Точность датирования по лишенометрии. Лишенометрическая съёмка показала, что на левом борту долины имеются моренные валы с максимальными диаметрами лишайников от 13 до 42 мм, а на правом борту – от 22 до 47 мм. Только на самой внешней береговой морене обнаружены лишайники диаметром 82–85 мм и даже 120 мм. Для определения возраста этих морен построена кривая роста лишайников для Центрального Кавказа по материалам разных авторов (см. рис. 3). На этом же рисунке показаны максимальные диаметры лишайников на предполях ледника Кашкаташ – отдельно для правого и левого борта и для каждой стадии наступания в целом. Видно, что максимальные для каждой стадии наступания диаметры лишайников хорошо укладываются в общее поле точек. Они также согласуются с результатами датирования по историческим и картографическим источникам и материалам дендрохронологии. Однако для отдельных поверхностей по данным лишенометрии возраст может быть существенно (на несколько десятилетий) занижен. Кроме того, в ряде случаев тенденция увеличения максимальных диаметров лишайников по мере старения морен нарушается (M4–M6), что обусловлено несколькими причинами: малой площадью поверхности морены, её обновлением вследствие активных экзогенных процессов и др. Для пред-

полий ледника Кашкаташ важный фактор, который может изменять скорость роста лишайников, – наличие лесного полога. Известно [21], что в тени лишайники прирастают иначе, чем на незатенённой поверхности. Чтобы получить более достоверные результаты датирования, необходимо исследовать максимально большую поверхность, причём это должны быть по возможности стабильные, ненарушенные и незатенённые участки. Точность лишенометрического датирования на основе анализа разброса реперных точек (см. рис. 3) оценена нами в первые десятилетия для периода в первые 200 лет поселения лишайников. Для более древних поверхностей из-за крайне небольшого числа реперных точек такие оценки невозможны.

Колебаний ледника Кашкаташ в сравнении с другими ледниками Центрального Кавказа. В XX в. на Центральном Кавказе отступление ледников прерывалось их стационарным состоянием или периодами наступания от четырёх до семи раз. По данным В.Д. Панова [9], обобщившего обширную литературу по этому вопросу, это происходило в 1907–1913, 1927–1932, 1946–1949, 1953–1955, 1966–1969, 1972–1978 и 1983–1988 гг. Для ледника Кашкаташ, согласно нашим исследованиям, наступание началось в конце 1960-х годов (отражено на аэрофотоснимке). В 1910-х и 1920-х годах также отмечались периоды наступания или стационарного состояния, на что указывают хорошо выраженные морены под ригелем. Основываясь на схеме А.С. Зюзина, можно с известной мерой условности говорить и о наступании ледника в конце 1950-х годов. Все эти даты наступания указаны в работе В.Д. Панова [9]. Отсутствие некоторых этапов наступаний у ледника Кашкаташ (1946–1949 гг.) можно объяснить индивидуальными особенностями ледника или недостатком информации.

Исследователи ледников северного макросклона Кавказского хребта выделяют как минимум две стадии наступания ледников во второй половине XIX в., но эти датировки в деталях существенно расходятся: 1872–1875, 1885–1887 [9]; середина XIX в., 1980-е [12]; 1850–60-е, 1880-е – начало 1890-х; 1846–1860, 1885–1887 [13]; 1870, 1885–1887 [11, с. 309]; 1849–1850, 1876–1880, 1884, 1890 гг. (для ледника Большой Азау) [11, с. 303]. Основным источником этих сведений – описания ледников, сделанные первыми исследователями Кавказа – Г. Абигом [17], Д. В. Фрешфильдом [20], Н.А. Бушем и др. Г. Бурмейстер [19] пишет, что примерно с 1850-х годов кавказские ледники находились в стадии деградации. Именно поэтому морены всех перечисленных стадий второй половины XIX в. должны были сохраниться в рельефе.

У ледника Кашкаташ чётко выражены четыре моренные генерации, имеющие схожий облик. Они хорошо видны на фотографии Г. Бурмейстера 1911 г. (см. рис. 1) и, согласно дендрохронологическим и лишенометрическим данным, относятся к XIX в. Дендрохронологическое датирование показало, что самая старая из морен XIX в. формировалась осенью 1839 – весной 1840 гг. Эта датировка согласуется с историческими све-

дениями. В то время ледник заполнял всю внутреннюю часть долины, увеличивался в толщину и его поверхность находилась на уровне бровки береговой морены. Выше по долине выражены три моренных вала, сформировавшихся между 1840–90-ми годами. Скорее всего, они соотносятся со стадиями наступания Большого Азау в 1849–1850, 1876–1880, 1884, 1890 гг. [11, с. 303].

По данным Г.К. Тушинского [16], И.Б. Сейновой и Е.А. Золотарева [3, 12], максимальных размеров ледники Кавказа в малом ледниковом периоде достигали в XVII в. Представления Г.К. Тушинского основывались главным образом на аналогии кавказской ледниковой истории с альпийской, а Е.А. Золотарев и И.Б. Сейнова датировали морены по материалам лихенометрии, однако кривая роста лишайников за пределами последних 200 лет ещё довольно слабо подкреплена реперными точками (см. рис. 3). Согласно нашим дендрохронологическим данным, наиболее удалённая от ледника Кашкаташ морена также датируется XVII в. Но следует заметить, что это – минимальная датировка и морена может быть гораздо старше. Отсутствие на ней более старых деревьев может объясняться тем, что продолжительность жизни сосен в этом районе примерно 400–500 лет. Максимальный размер лишайника на этой морене – 120 мм, но такой лишайник – единственный экземпляр. Следующий по размеру лишайник – 85 мм, и особой такого размера на морене много. По лихенометрической методике, лишайник размером 120 мм должен рассматриваться как аномально большой и исключаться из выборки [21]. Если при этом считать, что возраст морены в 400 лет по дендрохронологическим данным определён правильно, и принять за истинный максимальный диаметр лишайников 85 мм, то оказывается, что новая реперная точка (85 мм – 400 лет) идеально попадает на кривую, основанную на реперах Е.А. Золотарева, И.Б. Сейновой [12] и Н.А. Голодковской [13], и скорость роста лишайников на этом этапе составляет примерно 0,17 мм в год. Если же принять во внимание находку на этой морене лишайника размером 120 мм, то эта точка будет соответствовать модели В.И. Турманиной [15] и скорость роста будет почти в два раза выше (0,3 мм в год). Данные [12, 13] более надёжны, так как измерения В.И. Турманиной велись на самом раннем этапе лихенометрических исследований и имели предварительный характер. Таким образом, внешнюю морену ледника Кашкаташ с большой вероятностью можно отнести к XVII в.

Лихенометрическая съёмка показала, что в пределах этой внешней генерации морен по левому борту есть следы и других наступаний примерно такого же масштаба (например, поверхность морены с максимальными диаметрами лишайников 65 мм), однако эти поверхности недостаточно велики, чтобы достоверно судить об их возрасте.

Традиционно датировки морен сопоставляются с шириной годичных колец деревьев, растущих у верхней границы леса. При этом предполагается, что ширина колец у таких деревьев в значительной сте-

пени зависит от теплообеспеченности лета. Однако Е.А. Долгова и О.Н. Соломина [2] показали, что для высокогорий Центрального Кавказа это предположение – неверное. Основу реконструкции летней температуры здесь составляет максимальная плотность древесины сосны, согласно которой холодные летние сезоны отмечались здесь в 1832–1872, 1938–1940, 1972–1997 гг. Как установлено нами, четыре наиболее далеко отстоящие от ледника морены образовались в период 1840–80-х годов. С учётом времени запаздывания реакции языка на изменения температуры это примерно соответствует периоду похолодания 1830–70-х годов. Однако однозначного соответствия между датировками морен малого ледникового периода и наступаниями ледника Кашкаташ в XX в., а также колебаниями летней температуры по инструментальным и дендрохронологическим данным нет. Это связано с большой ролью зимних осадков в балансе массы ледников Кавказа, о которых пока нам известно крайне мало.

Скорости отступления ледника Кашкаташ менялись во времени. Быстрее всего язык сокращался в конце XIX – начале XX вв., в начале 1930-х годов и в начале XXI в. И.Б. Сейнова и Е.А. Золотарев указывают, что «максимальные темпы деградации оледенения (Эльбруса) наблюдались в конце XIX – начале XX вв., а, начиная со второй половины XX столетия, – заметно снижались. Однако за последнее десятилетие (1997–2007 гг.) темпы деградации снова увеличились» [12, с. 50]. Полученные нами данные хорошо согласуются с результатами И.Б. Сейновой и Е.А. Золотарева, за исключением 1930-х годов, которые оба названных автора характеризуют как благоприятные для развития оледенения. Это расхождение можно объяснить индивидуальными особенностями долины ледника Кашкаташ: в начале 1930-х годов большая часть конца ледника переместилась со дна долины на ригель, имеющий относительную высоту около 30 м (правой лапой он ещё спускался по расщелине ко дну долины). Именно существенное изменение высотного положения спровоцировало значительное отступление в горизонтальной проекции. В то же время нельзя забывать, что ледник долгое время оставался асимметричным и скорости отступления различных частей языка в разные периоды могли сильно отличаться.

Выводы

Используя картографические, геоморфологические и биоиндикационные методы исследования, реконструировано положение ледника Кашкаташ за последние 450 лет. Самая удалённая от конца ледника морена, согласно дендрохронологическим источникам, датируется XVII в. На неё налегает морена начала 1840-х годов. Ближе к леднику располагаются ещё три моренные генерации, поросшие сосновым лесом и образовавшиеся в период 1870–80-х годов. Они схожи по внешнему облику и практически не различаются по дендрохронологическим и лихенометрическим

данным. Под ригелем ледника находятся ещё две морены, которые только начинают зарастать лесной растительностью. По историческим и картографическим данным, они образовались в 1910–20-х годах. Начиная с 1890 г. по настоящее время восстановлено 14 положений конца языка ледника Кашкаташ. Установлено, что с середины XIX в. ледник отступает. Отмечены три коротких периода наступания: 1) три раза во второй половине XIX в.; 2) два раза в начале XX в.; 3) в 1970–80-х годах. Темпы деградации в разные периоды эволюции ледника Кашкаташ были неодинаковы, и они варьировали и в разных частях ледника. Учитывая возросшие в настоящее время скорости отступления, в ближайшем будущем эта тенденция вряд ли сменится на обратную. Колебания ледника Кашкаташ хорошо согласуются с колебаниями других ледников на Кавказе и в других горных странах, например в Альпах. Это показывает, что причины изменения размеров ледников имеют, по крайней мере, континентальные масштабы, а ледник Кашкаташ может служить репрезентативным для таких исследований.

Благодарности. Мы выражаем глубокую признательность нашим коллегам А.А. Алейникову, Н.А. Володичевой, Л.В. Десинову, М.Н. Иванову, В.Н. Михаленко, И.Б. Сейновой за содействие в сборе материалов для этой статьи, а также В.В. Мацковскому, Ю.З. Мацковской и В.В. Грязновой за помощь в обработке дендрохронологической информации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 11-05-00304.

Литература

1. *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.
2. *Долгова Е.А., Соломина О.Н.* Первая количественная реконструкция температуры воздуха теплого периода на Кавказе по дендрохронологическим данным // ДАН. 2010. Т. 431. № 2. С. 252–256.
3. *Золотарёв Е.А.* Эволюция оледенения Эльбруса. М.: Научный мир, 2009. 238 с.
4. *Зюзин А.С.* Ледник Кашка-таш // Изв. ВГО. 1949. Т. 81. Вып. 4. С. 429–430.
5. *Зюзин А.С.* О характере изменения ледника Кашка-таш // Изв. ВГО. 1960. Т. 92. Вып. 4. С. 365–369.
6. Каталог ледников СССР: Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 8. Северный Кавказ. Ч. 5. Бассейн рек Малки, Баксана. Л.: Гидрометеоздат, 1970. 145 с.
7. *Ковалёв П.В.* Современное оледенение бассейна реки Баксана // Материалы кавказской экспедиции по программе МГГ. Т. 2. Изд. Харьковского ун-та, 1960. С. 57–59.
8. *Орешикова Е.И.* Ледники Эльбурского района по исследованиям 1932–33 гг. // Тр. ледниковых экспедиций. Вып. 5. Кавказ. 1936. С. 239–297.
9. *Панов В.Д.* Эволюция современного оледенения Кавказа. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. 429 с.
10. *Подозерский К.И.* Ледники Кавказского хребта // Зап. Кавказского отделения Императорского Русского географического общества. 1911. Кн. 29. Вып. 1. 200 с.
11. *Природные процессы на территории Кабардино-Балкарии / Под ред. акад. Н.П. Лаврова.* Москва, Нальчик: изд. РАН, 2004. 438 с.
12. *Сейнова И.Б., Золотарев Е.А.* Ледники и сели Приэльбрусья (Эволюция оледенения и селевой активности). М.: Научный мир, 2001. 203 с.
13. *Серебряный Л.Р., Голодковская Н.А., Орлов А.В., Малеява Е.С., Ильвес Э.О.* Колебания ледников и процессы моренонакопления на Центральном Кавказе. М.: Наука, 1984. 216 с.
14. *Соломина О.Н.* Горное оледенение Северной Евразии в голоцене. М.: Научный мир, 1999. 263 с.
15. *Турманина В.И.* Исследования эволюции ледника Джанкуат фитоиндикационными методами // МГИ. 1971. Вып. 18. С. 106–109.
16. *Тушинский Г.К.* Послелавовое оледенение Эльбруса и его динамика: Информ. сб. о работах географич. факультета МГУ по МГГ № 2. М., 1958. С. 117–167.
17. *Abich H.* Geologische Beobachtungen auf Reisen im Kaukasus um Jahre 1873. Moskau, 1875. 138 S.
18. *Beschel R.E.* Dating rock surfaces by lichen growth and its application to glaciology and physiography (lichenometry) // Geology of the Arctic. 1961. V. 2. P. 1044–1062.
19. *Burmester H.* Rezent-glaziale Untersuchungen und photogrammetrische Aufnahmen im Baksanquellgebiet (Kaukasus) // Zeitschrift für Gletscherkunde. 1913. Bd. 8. Ht. 1. S. 1–41.
20. *Freshfield Douglas W.* The Exploration of the Caucasus: V. 1. London and New York, 1896. 278 p.
21. *Innes J.L.* Lichenometry // Progress in Physical Geography. 1985. V. 9. № 2. P. 187–254.
22. *Jomelli V., Solomina O., Zolotarev E., Seinova I., Volodicheva N., Oleinikov A.* Last millenium glacier variations in the Elbrus area // Caucasus. Proc. of PAGES OSM. Beijing, China. 2005. Abstracts.
23. *Merzbacher G.* Aus den Hochregionen des Kaukasus. Wanderungen, Erlebnisse. Leipzig: Duncker & Humblot, 1901. 2 Vols. xxxviii, 958 and 964 S.
24. *M. von Déchy.* Kaukasus Reisen und Forschungen im kaukasischen Hochgebirge: Bd. 2. Berlin, 1905. 346 S.
25. *Zumbühl H.J., Steiner D., Nussbaumer S.U.* 19th century glacier representations and fluctuations in the central and western European Alps: An interdisciplinary approach // Global and Planetary Change. 2008. V. 60. P. 42–57.

Summary

We focused our study on the retreat of a typical valley glacier Kашкаташ, located in the Elbrus Area. We compared the old photographs of the glacier forefields (H. Burmester, 1911; H. Altberg, 1927; E.N. Lukashva, 1932; unknown author, 1939) with the aerial photograph of 1957, 1965, 1987, maps of scale 1:100 000 (1890) and 1:25 000 (1950s), satellite images (CORONA of 1971, ASTER of 2005, EROS of 2006), oblique photographs taken in 1980s–2000s and plans, created by different researches. Using cartographic material and old photographs we reconstructed 14 positions of glacier tongue over the last 120 years. We estimated the linear glacier retreat and the age of numerous stadial moraines basing on geomorphic, tree-ring and lichenometric data and correlated our results with previous sparse glacier fluctuation reconstructions in this region. We identified at least 13 end moraines within the distance of 900 meters from the up-to-date glacier front position. The minimum age of the outer moraine is 450 years according to the tree-ring data. One tree growing on this moraine was damaged by a boulder falling down from a younger moraine under formation in the period from autumn 1839 to spring 1840. Three moraines were deposited in 1870s–1890s. In 20th century the glacier advanced in 1910-s, 1920-s, and 1970–1980-s.