

История ледника Донгуз-Орун по биоиндикационным, историческим, картографическим источникам и данным дистанционного зондирования

© 2018 г. О.Н. Соломина¹, И.С. Бушуева^{1*}, П.Д. Полумиева¹, Е.А. Долгова¹, М.Д. Докукин²

¹Институт географии РАН, Москва, Россия; ²Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия

*bushueva@igras.ru

History of the Donguz-Orun Glacier from bioindication, historical, cartographic sources and remote sensing data

O.N. Solomina¹, I.S. Bushueva¹, P.D. Polumieva¹, E.A. Dolgova¹, M.D. Dokukin²

¹Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; ²High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia

bushueva@igras.ru

Received April 27, 2018

Accepted September 19, 2018

Keywords: dendrochronology, glacier fluctuations, lichenometry, Little Ice Age, remote sensing, repeated photographs, tree-rings.

Summary

On the basis of dendrochronological, lichenometric and historical data with the use of Earth remote sensing materials, the evolution of the Donguz-Orun Glacier has been reconstructed over the past centuries. In this work we used aerial photographs of 1957, 1965, 1981, 1987, satellite image of 2009, as well as descriptions, photographs, maps and plans of the glacier of the 19th and 20th centuries, data of instrumental measurements of the glacier end position in the second half of the 20th – early 21st centuries, dendrochronological dating of pine on the front part of the valley, and juniper to date coastal moraines, and the results of lichenometry studies. It has been established that the Donguz-Orun Glacier in the past had several clearly marked advances about 100, 200 and more than 350 years ago, which are expressed in relief in the form of uneven-aged coastal moraines. Despite the fact that the Donguz-Orun Glacier differs from many mountain-valley glaciers of the Caucasus primarily by its predominantly avalanche feeding and a moraine cover, almost entirely covering its surface, the main periods of its advances are consistent with the known large fluctuations of mountain glaciers during the Little Ice Age in the early 20th, early 19th, and, probably, in the middle of the 17th century. However, unlike most other Caucasian glaciers, the Donguz-Orun Glacier advanced in the 1970s–2000s. The scale of its degradation from the end of the 19th to the beginning of the 21st century is also uncharacteristic for the Caucasus: the reduction in the length for longer than a century period is only about 100 m.

Citation: Solomina O.N., Bushueva I.S., Polumieva P.D., Dolgova E.A., Dokukin M.D. History of the Donguz-Orun Glacier from bioindication, historical, cartographic sources and remote sensing data. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2018. 58 (4): 448–461. [In Russian]. doi: 10.15356/2076-6734-2018-4-448-461.

Поступила 27 апреля 2018 г.

Принята к печати 19 сентября 2018 г.

Ключевые слова: дендрохронология, дистанционное зондирование, древесные кольца, колебания ледников, лихенометрия, малый ледниковый период, повторные фотографии.

Проведены исследования изменений долинного ледника Донгуз-Орун за последние три с половиной столетия. Границы положения конца ледника определялись по аэрофото- и космическим снимкам, а также по историческим описаниям, фотографиям, картам и планам ледника, дендрохронологическим датировкам по сосне и можжевельнику и результатам лихенометрических исследований. Установлено, что ледник Донгуз-Орун в прошлом имел несколько чётко выраженных наступаний около 100, 200 и более 350 лет назад, следы которых находят отражение в рельефе в виде разновозрастных береговых морен.

Введение

В последнее время почти во всех горных районах земного шара наблюдается тенденция к отступанию ледников. Она согласуется с повышением глобальных среднегодовых температур, которое началось 100–150 лет назад [1]. Это сви-

детельствует о высокой чувствительности ледников к изменениям климата [2]. Наиболее часто в качестве климатических индикаторов используют тёплые долинные ледники простой формы, которые относительно быстро и предсказуемо реагируют на колебания климата. Однако и ледники, имеющие ярко выраженные индивидуальные



Рис. 1. Ледник Донгуз-Орун в 2007 г. Снимок с вертолёта. Фото А.А. Олейникова
Fig. 1. Donguz-Orun glacier in 2007. Photo from the helicopter by A.A. Oleynikov

особенности, интересны для палеоклиматических реконструкций. К таким, например, относится ледник Донгуз-Орун, поверхность которого покрыта слоем моренного материала, а питание происходит почти исключительно за счёт снежных лавин. Далее мы проанализируем исторические, картографические и биоиндикационные данные, а также материалы дистанционного зондирования, чтобы восстановить картину изменений ледника Донгуз-Орун за последние столетия.

Долинный ледник Донгуз-Орун (рис. 1) расположен на северном склоне Главного Кавказского хребта. Он течёт на северо-запад, а затем поворачивает на северо-восток. Имеет четыре фирновых потока – справа короткие и мощные, а слева – более длинные. Около 35% поверхности ледника покрыто поверхностной мореной. В 1957 г., по данным Каталога ледников СССР, длина ледника составляла 3,6 км, а площадь – 2,7 км² [3].

Материалы и методы

В настоящей работе использованы: аэрофотоснимки, сделанные 10.08.1957 г., в 1965 г., 11.08.1983 г., в 1987 г., 27.07.1988 г.; космический снимок 2002 г. с МКС; вертолётные сним-

ки 05.07.2004 г. (ИнфоТЕРРА), 2011, 2013, 2016 гг.; космический снимок, сделанный 16.10.2009 г. и заимствованный из открытого ресурса Google Earth (пространственное разрешение 0,6 м). Все данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) были ортотрансформированы в выбранную систему координат. В качестве опорного снимка выбрано изображение из Google Earth, сделанное одним из аппаратов компании DigitalGlobe 16.10.2009 г. Оцифровка края ледника проводилась в ручном режиме. Более подробно методика обработки данных ДЗЗ приведена в работе [4].

Для реконструкции положения конца ледника и его состояния использованы описания исследователей и фотографии XIX и первой половины XX в. (М. Деши [5], Д. Фрешфильд [6], А.Л. Рейнгард [7], Е.И. Орешникова [8] и др.), а также старые карты и схемы. К сожалению, из-за невысокой точности инструментов, с помощью которых измеряли высоты в XIX – начале XX вв., и нечёткой нижней границы ледника оценки высоты конца ледника Донгуз-Орун оказались мало информативными (см. далее раздел «Колебания ледника Донгуз-Орун по историческим и картографическим данным»). Фотографии, которые приводятся в старых книгах (например, М. Деши, 1886 г.) обычно выполнены

с противоположного склона долины р. Баксан и захватывают только правый край береговой морены, поэтому они также почти непригодны для исследования динамики ледника Донгуз-Орун.

Дендрохронологические работы на предполье ледника Донгуз-Орун сотрудники Института географии РАН проводили в 2004, 2012, 2014 и 2017 гг. На моренах ледника было отобрано 14 спилов можжевельника (*Juniperus sabina* L.) и 16 кернов сосны (*Pinus sylvestris* L.). Кроме этих материалов, для сравнения использованы древесно-кольцевые хронологии сосны, построенные ранее для района Эльбруса [9]. Отбор и анализ образцов древесины (керны и спилы) проводили в соответствии с общепринятыми методическими требованиями древесно-кольцевого анализа [10, 11]. В данном случае главная задача дендрохронологического анализа состояла в определении минимального возраста поверхности морен, на которых росли деревья.

На береговых моренах ледника Донгуз-Орун древесная растительность представлена только стланиковой формой можжевельника; морены перед фронтом ледника зарастают молодыми соснами. Поскольку у стелющихся форм можжевельника ствол периодически меняет свое положение и освещённой остаётся лишь его часть, годовые кольца не имеют концентрического рисунка, а формируются только в той части ствола, которая не лежит на земле. Таким образом, полный набор годовых колец можно определить только путём изучения всей поверхности спила, а не на основе кернов. Наша стратегия отбора можжевельника на моренах Донгуз-Оруна предусматривала сохранение деревьев, поэтому прежде всего отбирались образцы засохших стволов или сухих ветвей. Сухие стволы можжевельника, благодаря своей плотной древесине, довольно часто долго сохраняются на моренах у ледников Приэльбрусья. С живых деревьев, которые отличаются многостольностью, мы спиливали только один из стволов или самую толстую ветвь, чтобы дерево продолжало расти. Наличие образцов живых деревьев необходимо для процедуры перекрёстного датирования, которая позволяет установить точный возраст дерева [10].

Ширина годовых колец измерялась на полуавтоматической установке LINTAB с точностью 0,01 мм и с помощью программ рабо-

ты с цифровыми изображениями CDendro и Coorecorder. Далее данные по ширине годовых колец подвергались перекрёстной датировке в программе TSAP-Win с последующей проверкой в программе COFESHA [12]. К сожалению, построить надёжную хронологию по можжевельнику пока не удалось из-за большого числа выпадающих колец в образцах, но работа в этом направлении продолжается. По этой причине дендрохронологические оценки возраста, основанные на материалах по можжевельнику и приведённые в настоящей работе, пока только приблизительны, но они достоверно указывают на минимальный возраст образцов, а следовательно, и морен, с которых они отбирались.

Керновое бурение сосен, растущих у фронта ледника, выполнялось с одного произвольно выбранного направления, вблизи комля. Для обеспечения надёжности перекрёстного датирования в дендрохронологии принято отбирать по два керна с каждого дерева [10], но в нашем случае для проверки качества датирования мы использовали древесно-кольцевые хронологии, построенные в этом районе ранее: в частности, площадку, заложенную на северном склоне горы Четет в непосредственной близости от ледника Донгуз-Орун, поэтому необходимости в отборе двух образцов с каждого дерева не было. На этой основе была построена хронология по ширине колец сосен в долине Донгуз-Орун.

Для бурения выбирались наиболее старые деревья, так как именно они относятся к первопоселенцам и их возраст наиболее близок ко времени стабилизации морен. На Центральном Кавказе освобождённая ото льда поверхность зандра или отложенной морены начинает заселяться соснами и можжевельником, как правило, спустя 15–20 лет [13]. На этот показатель влияет множество локальных факторов, среди которых – геологические, минералогические, топографические, микроклиматические и другие, поэтому в разных долинах этот показатель существенно варьирует [14]. Если возрастной дендробур не достигал сердцевины ствола или проходил в стороне от неё, то использовался набор прозрачных палеток, которые по кривизне последних колец в образце дают представление о числе недостающих. Эта поправка прибавляется к числу колец, представленных в образце. Несмотря на то, что бурение про-

исходит вблизи комля, расстояние до поверхности земли составляет не менее 30–50 см: таковы размеры ручки бура, которую надо поворачивать при бурении. Возраст сосен с высотой ствола 30–50 см на моренах Приэльбрусья может достигать 5–7 лет. Это означает, что при определении времени стабилизации субстрата, на котором выросло дерево, к возрасту образца следует добавить ещё и эту поправку.

Косвенным показателем возраста морен могут служить, помимо деревьев, и корковые лишайники, размер которых увеличивается со временем. Лихенометрические исследования морен в этой работе проведены по методике, описанной в статье [9]. На поверхности береговых морен, которые чётко выражены по обоим бортам долины, измерялись максимальные диаметры корковых лишайников группы *Rhizocarpon geographicum sensu lato*. Исследование проводилось на всей поверхности морены без деления на стандартные пробные площади. На больших валунах измеряли по одному самому крупному лишайнику. В качестве индикатора возраста каждой генерации морен использовалось максимальное из всех измерений. Если отклонение этого размера от следующего составляло 20% и более, то это значение считалось аномальным и в расчёт не принималось, а за индикатор возраста брали следующий по размеру лишайник. Подобные аномалии отмечаются в случае поступления аллохтонного материала на поверхность или из-за аномальных условий роста конкретной особи лишайника. Это может быть связано также с недостаточным числом измерений, что объясняется незначительной площадью сохранившегося фрагмента морены или малым количеством крупных валунов на её поверхности. Подробно эти проблемы описаны, например, в работе [15].

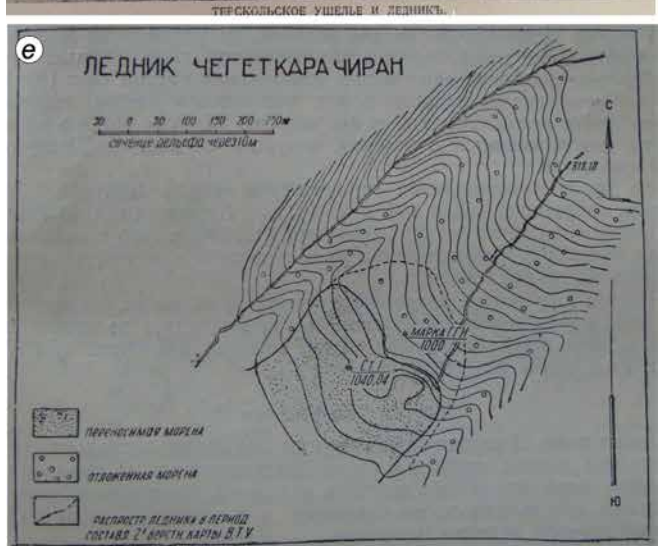
Калибровка диаметра лишайника по отношению к его возрасту проводилась по кривой, опубликованной в исследовании [9], где обобщены результаты многолетних лихенометрических наблюдений разных авторов. Согласно этим данным, скорость прироста лишайников в первые 100–150 лет на Центральном Кавказе составляет примерно 0,30–0,25 мм/год. Темпы роста лишайников со временем замедляются. К сожалению, из-за отсутствия надёжных независимых датировок для поверхностей старше

двух столетий на Кавказе здесь до сих пор нет надёжной кривой роста для более древних поверхностей и лихенометрические оценки возраста для них очень условны.

При использовании биоиндикационных методов на предпольях и моренах ледника Донгуз-Орун следует принимать во внимание активную круглогодичную лавинную деятельность в области питания и на языке ледника, где боковая морена служит естественной противолавинной дамбой. Сходящие лавины уничтожают или угнетают там все виды растительности (Н.А. Володичева, личное сообщение), что существенно затрудняет определение истинного возраста морен.

Колебания ледника Донгуз-Орун по историческим и картографическим данным

Изучением колебаний ледников на Кавказе занимались многие исследователи, начиная с середины XIX в., но данные о леднике Донгуз-Орун очень ограничены. Систематических наблюдений за состоянием ледника не проводилось и в XX в., возможно, из-за особенностей его морфологии и питания, которые мы уже отметили. К сожалению, основным объектом на фотографиях ранних экспедиций был не сам ледник Донгуз-Орун, а вершины и перевал рядом с ним. В 1868 г. через перевал Донгуз-Орун проходил английский альпинист Дуглас Фрешфильд [6]. По итогам его экспедиции была издана карта Центрального Кавказа, на которой был обозначен и ледник Донгуз-Орун (рис. 2, а). Правда, размеры ледника и его положение на этой карте показаны схематично. Озеро, которое в настоящее время расположено вплотную к береговой морене, на карте Фрешфильда показано бессточным и отстоящим от морены на довольно существенное расстояние. Река течёт вдоль морены и не соединяется с озером, в то время как сейчас река вытекает из озера. Конец ледника показан примерно в том месте, где долина сужается и её склоны становятся крутыми. Первый известный нам фотоснимок долины Донгуз-Орун был сделан М. Деши в 1886 г. (см. рис. 2, б), но конец ледника на нём практически не виден. На карте (см. рис. 2, в), приведённой в работе М. Деши, ледник показан очень обобщённо, а его конец тоже почти неразличим.



(См. подпись к рис. 2, а-з на стр. 453)



Рис. 2. Изображения ледника Донгуз-Орун.

a – фрагмент карты Центрального Кавказа, составленной Д. Фрешфильдом по материалам путешествия 1868 г. [6]; *б* – вид на Донгуз-Орунскую группу ледников с Терскольского склона, 1886 г., фото М. Деши [5]; *в* – фрагмент карты М. Деши, 1886 г. [5]; *г* – фрагмент карты 1887–1890-х годов А.В. Пастухова; *д* – фото Донгуз-Орунской группы ледников и ледника Когутай В.В. Дубянского, 1908 г. [17]; *е* – план конца ледника Донгуз-Орун Е.И. Орешниковой, 1933 г. [8]; *ж* – план ледника Донгуз-Орун П.В. Ковалева, 1958 г. [21]; *з* – фотография Донгуз-Орунской группы ледников с Терскольского склона П.Д. Полумиевой, 2017 г.

Fig. 2. Images of the Donguz-Orun Glacier.

a – fragment of the map of the Central Caucasus, compiled by D. Frechfield on the materials of the journey of 1868 [6]; *b* – view of the Donguz-Orun group from the Terskol slope, 1886, photo by M. Deshy [5]; *v* – a fragment of M. Deshy's map, 1886 [5]; *g* – Fragment of the map of 1887–1890's by A.V. Pastuhov; *d* – photo of the Donguz-Orun group of glaciers and Kogutai Glacier in 1908 by V.V. Dubyansky [17]; *e* – plan for the end of the Donguz-Orun Glacier by E.I. Oreshnikova, 1933 [8]; *zh* – plan of Donguz-Orun Glacier by P.V. Kovalev, 1958 [21]; *z* – repeated photo of the Donguz-Orun group of glaciers from the Terskol slope in 2017 by P.D. Polumieva

Во второй половине 1880-х годов корпусом военных топографов были составлены одновёрстные (1:42 000) карты Кавказа. Однако большинство листов этих карт утеряно, в том числе и на территорию ледника Донгуз-Орун. В 1887–1890 гг. под руководством А.В. Пастухова составлена карта оледенения Эльбруса в масштабе 1:50 000, на которой зафиксировано положение конца ледника на высоте 2515 м, т.е. примерно там же, где и в начале XXI в. (см. рис. 2, г). Наложение контура ледника с этой карты на космический снимок 2009 г. (рис. 3) показало, что размеры ледника в конце XIX в. были практически такими, как и в начале XXI в., но из-за неточностей карты эти сведения без дополнительных подтверждений следует использовать с осторожностью.

В 1898 г. на Центральном Кавказе проводил исследования И.В. Мушкетов [16]. Он, в частности, писал: «Все 4 Донгуз-Орунских ледника отступили, оставив значительные морены. За дальностью расстояния я затрудняюсь дать точные цифры, но, судя по рисунку, весьма точно, сделанному мною в прошлом году, уменьшение длины ледников должно быть не меньше 8–10 саженей». Видимо, здесь речь идёт о ледниках, расположенных к западу от интересующего нас ледника, о самом же леднике Донгуз-Орун И.В. Мушкетов информации не приводит.

В работе В.В. Дубянского [17] приводится фотография массива Донгуз-Орун, сделанная им в 1908 г. (см. рис. 2, д), однако снимок сделан с неудачного ракурса и, как и на фотографии

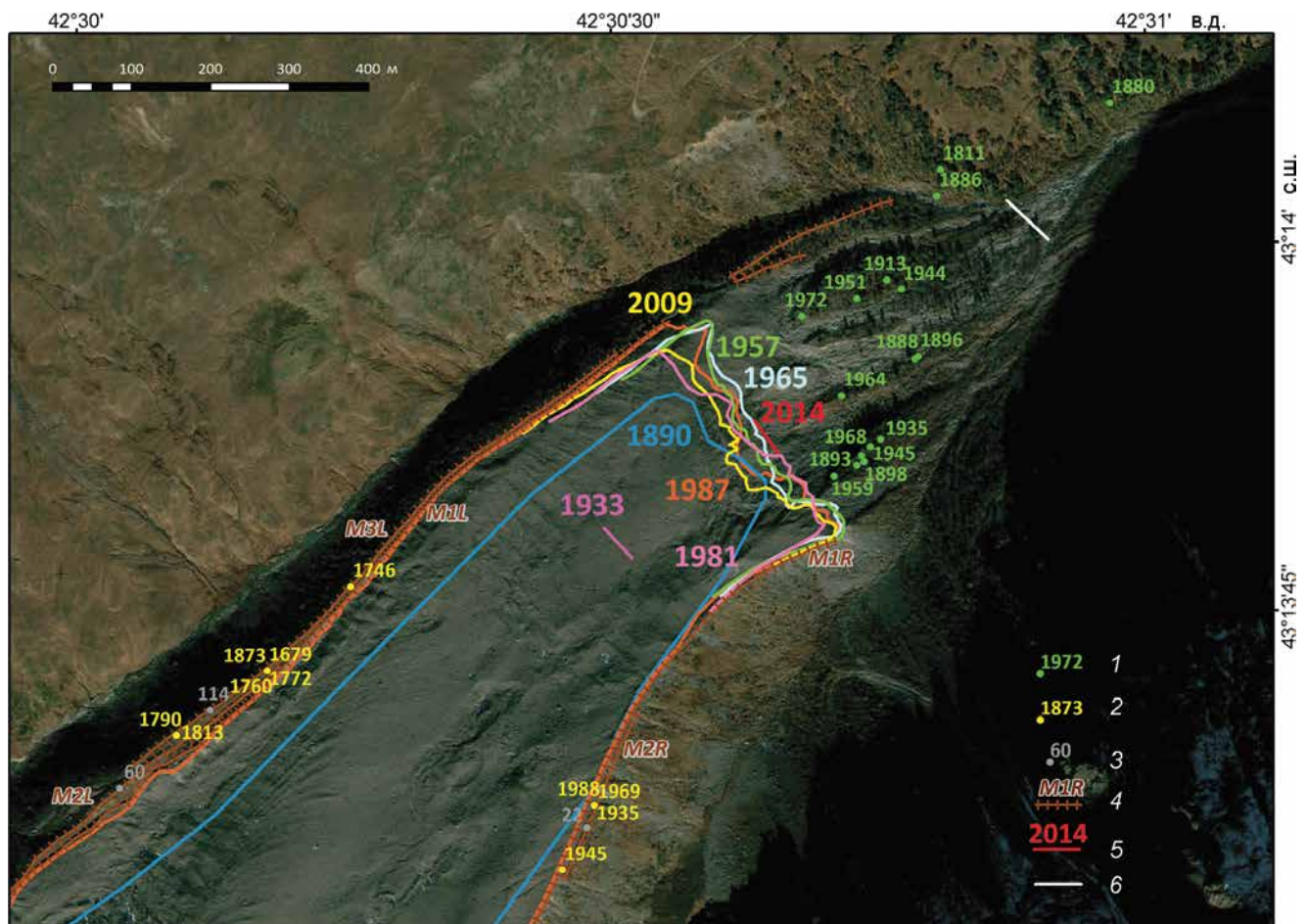


Рис. 3. Положение конца языка ледника Донгуз-Орун по историческим и инструментальным данным за 1890–2014 гг.

Граница языка ледника восстановлена на основе карты, аэрофото- и космических снимков 1957, 1965, 1981, 1987 и 2009 гг.; 1 – год образования первого кольца сосен (без поправок); 2 – примерный возраст года начала роста можжевельника, годы н.э.; 3 – диаметр лишайников, мм; 4 – положение морен (маркировка соответствует табл. 1); 5 – положение конца ледника в указанный год; 6 – граница максимального продвижения конца ледника на основе геоморфологических данных

Fig. 3. Position of the front of Donguz-Orun Glacier based on historical and instrumental data for 1890–2014.

The front position is identified by map, aerial and space images of 1957, 1965, 1981, 1987 and 2009; 1 – year formation of the first ring of pines (uncorrected); 2 – approximate age of juniper, years AD; 3 – diameter of lichens, mm; 4 – position of moraines (marking corresponds to Table 1); 5 – the position of the end of the glacier in this year; 6 – the limit of the maximum movement of the end of the glacier based on geomorphology

М. Деши, конца ледника Донгуз-Орун фактически не видно. Н.А. Буш [18] отмечал, что в 1911 г. ледник Донгуз-Орун был разбит несколькими очень значительными поперечными и продольными трещинами. «Нижний конец совершенно засыпан и очень толст. Он доходит до березняка на правом склоне ущелья и до березняка с крупной сосной на левом... Есть невысокая новая конечная морена; по-видимому, ледник переходит в наступление» (с. 487–488). 27 июля 1911 г. на левой береговой морене на приметном красном валуне Н.А. Буш поставил метку, которая позже,

к сожалению, была утеряна, и мы не можем определить, где именно находился конец ледника в начале XX в. Более того, сейчас у языка ледника начинается очень крутой склон, который продолжается до сужения долины, и ни одной конечной морены на такой наклонной поверхности нет.

По данным Каталога ледников К.И. Подозёрского [19], площадь ледника в начале XX в. составляла около 2,48 квадратных вёрст. Данных о положении конца в этом Каталоге нет. В.Я. Альтберг в 1925 г. указывает положение нижнего конца языка ледника на высоте 2496 м

Таблица 1. Максимальный размер лишайников *Rhizocarpon geographicum* sp. и количество годичных колец у деревьев на моренах ледника Донгуз-Орун*

Номер морены	Диаметр лишайников (через тире – пять максимальных размеров), мм	Примерный возраст лишайников, лет	Число годичных колец у можжевельника (в скобках указано изменение по второму и более диаметру) и годы образования первого кольца у сосен (для морены МЕ)
M1L	Нет лишайников	–	Нет деревьев
M2L	60–56–53–44–38	200	
M3L	114–105–95–85–78	500	333 (327), 266, 252 (231), 240, 139, 222 (213, 212, 193), 199 (172), 193, 181, 156
M1R	Нет лишайников	–	Нет деревьев
M2R	22–20–18–18–16	Около 50	79, 69, 45, 26
МЕ	До 20 (нестабильная поверхность)	Около 50	1888, 1893, 1896, 1898, 1913, 1935, 1944, 1945, 1951, 1959, 1964, 1968, 1972

*ML – левые береговые; MR – правые береговые; МЕ – конечная морена перед фронтом ледника (частично размытая).

и отмечает, что ледник сильно загрязнён и оседает, а также, что его «конечная морена поросла травой и молодым леском» [20]. Трудно понять, что именно В.Я. Альтберг называет конечной мореной, так как у современного ледника Донгуз-Орун конечные морены размыты.

В 1933 г., по данным Е.И. Орешниковой [8], ледник заканчивался на высоте 2520 м, т.е. существенно выше, чем в начале XXI в. Видимо, эта оценка неточна. Об этом косвенно свидетельствует её же неверная оценка высоты впадения р. Донгуз-Орун в Баксан (2174 м). На самом деле место впадения находится на высоте 2017 м (GDEM). Е.И. Орешникова приводит план конца ледника (см. рис. 2, е), который не удаётся точно привязать к современным космическим снимкам, так как на нём нет никаких заметных ориентиров (мостов, дорог, слияния рек и т.п.). На плане Е.И. Орешниковой показана граница ледника по данным двухвёрстной карты, которую она обозначает аббревиатурой «В.Т.У.». Предположительно это – Военно-топографическое училище. В нашем распоряжении этой карты нет. По-видимому, это не карта военных топографов, которая была одновёрстной, а, возможно, её модификация. Е.И. Орешникова пишет, что со времени составления двухвёрстной карты 1887–1889 гг. ледник сократился на 100 м (как показано на её схеме, см. рис. 2, е). На плане Е.И. Орешниковой есть также указание на марку ГГИ 1000, которая была установлена в 1933 г. взамен той, что была поставлена годом ранее и не уцелела, но и этот репер не сохранился.

По наблюдениям П.В. Ковалева (см. рис. 2, ж) [21], за 1958–1959 г. ледник отступил на 10 м, однако привязка этих данных к местности в на-

Таблица 2. Колебания ледника Донгуз-Орун по историческим и инструментальным данным

Годы наблюдений	Отступление (–) и наступание (+) ледника, м	Авторы
1887–1932	–100	Е.И. Орешникова [8]
1911	Наступание	Н.А. Буш [18]
1932–1958	–40	П.В. Ковалев [21]
1958–1959	–10	
1958–1966	–10	В.Д. Панов [22]
1887–1966	–150	
1966–1974	–44,8	
1974–1986	+30,8	Ю.Г. Ильичев [22]
1986–1997	+62,0	
1997–2003	+36,7	

стоящее время также утеряна. Начиная с 1974 г. Ю.Г. Ильичев [22] отмечает признаки наступания ледника Донгуз-Орун, который он называет Чегеткара (номер 39). По его данным, за 1974–2003 гг. наступание составило примерно 120 м (табл. 2). В 2003 г. в работе А.В. Зимницкого и Ю.В. Ефремова [23] также отмечено наступание ледника Донгуз-Орун «по напорному валу конечной морены». Кроме того, наблюдалось осыпание береговой морены, которая частично отлагалась в озеро. А.Д. Олейников сообщил, что и в 2008 г. ледник имел признаки наступания.

Приведённые здесь исторические свидетельства о леднике Донгуз-Орун показывают, что из-за неточностей старых карт и измерений высотного положения языка ледника в конце XIX – начале XX вв. эти данные трудно использовать для реконструкций. Кроме того, у ледника Донгуз-Орун довольно сложно определить нижнюю границу языка – его язык заморенен,

поэтому разные исследователи могли идентифицировать положение конца по-разному.

Более достоверная информация доступна для последних десятилетий на основе данных дистанционного зондирования. Сравнение аэрофотоснимков 1957, 1965, 1981, 1987 гг. и космического снимка 2009 г., а также наземных фотографий 2014 г., выполненных во время полевых исследований, показывает, что положение конца языка ледника колебалось в небольших пределах — в диапазоне 70 м — и по-разному в разных частях фронта (см. рис. 3). В 1957 и 1965 гг. край ледника представлял собой практически прямую линию. По сравнению с 1957 г. в 1965 г. ледник в центральной части незначительно (~15 м) продвинулся вперёд. Снимок 1981 г. имеет более грубое пространственное разрешение, и исследуемый ледник попадает на край изображения, поэтому выделить границу ледника удастся с трудом. При сравнении изображений 1965 и 1981 гг. видно, что к 1981 г. правая часть языка ледника Донгуз-Орун наступила, а левая отступила, причём около левой береговой морены отчётливо выделяется конечная морена, которая образовалась, по-видимому, между этими двумя датами.

Наличие морены этого возраста согласуется с данными В.Д. Панова [22], который писал, что с конца 1970-х годов ледник наступал. На аэрофотоснимке 1987 г. видно, что ледник опять начал продвижение вперёд своим левым краем, в то же время в середине фронт ледника немного отступил (приблизительно на 35 м). За год — с 1987 по 1988 г. — наступание составило около 15 м, и в это время конец языка ледника приобрёл выпуклый профиль. Граница максимального наступания в 2002–2003 гг. хорошо видна на вертолётном снимке 2004 г. К 2004 г. ледник ещё сильнее продвинулся вперёд своим левым краем (~80 м) по сравнению с 1988 г. На снимке 1987 г. левая береговая морена имеет хорошо выраженный гребень около края ледника, а на снимке 2009 г. видно, что часть этой морены перекрыта обломочным материалом чуть ниже края ледника и конечная морена уже не различается на этом снимке. Наступание ледника, зафиксированное в результате дешифрирования аэрофотоснимков, подтверждается и данными В.Д. Панова [22]. По вертолётным снимкам 2011, 2013 и 2016 гг. (рис. 4) видно, что с 2011 г. левый край ледника отступает. В период 1950–

2009 гг. существенные изменения произошли в облике фронтальной части долины, прилегающей к леднику, в частности, изменился рисунок рельефа, поскольку потоки воды с ледника размывали некоторые старые моренные останцы и выработали новые эрозионные ложбины.

Колебания ледника Донгуз-Орун по геоморфологическим, лихенометрическим и дендрохронологическим данным

Н.Я. Динник в 1880-х годах писал, что «по бокам его (ледника Донгуз-Орун) находятся очень высокие морены и, судя по тому, что на них растут порядочные деревья, они должны быть не особенно нового происхождения» [24, с. 35]. По геоморфологическим признакам у ледника и в настоящее время выделяются чётко выраженные береговые морены, которые возвышаются над поверхностью льда и прослеживаются ниже современного конца ледника. Это показывает, что ледник не всегда был таким пассивным, как в последнее столетие, но в прошлом он был мощнее и пережил несколько наступаний. Конечные морены перед фронтом ледника размывы, однако прежнее положение конца ледника, которое примерно на 450 м ниже современного, хорошо прослеживается по контуру остатков береговых морен и резкому сужению долины ниже высоты 2270 м над ур. моря (см. рис. 3).

Моренный комплекс ледника Донгуз-Орун довольно прост, что нетипично для ледников Кавказа, переживших в последние столетия несколько наступаний, следы которых сохранились в рельефе [9]. Скорее всего, это связано с инерционностью перегруженного мореной ледника, который реагирует изменениями своих плановых размеров только на очень существенные климатические изменения, как бы отфильтровывая более высокочастотные колебания. По правому борту ледника Донгуз-Орун прослеживаются две береговых морены (M1R и M2R), на левом мы выделили три разновозрастных генерации (M1L, M2L, M3L). Молодая высокая морена (M1L) по левому борту частично перекрывает старые морены M2L и M3L (см. рис. 3). Небольшой фрагмент более старой морены (M2L) сохранился в понижении между мо-

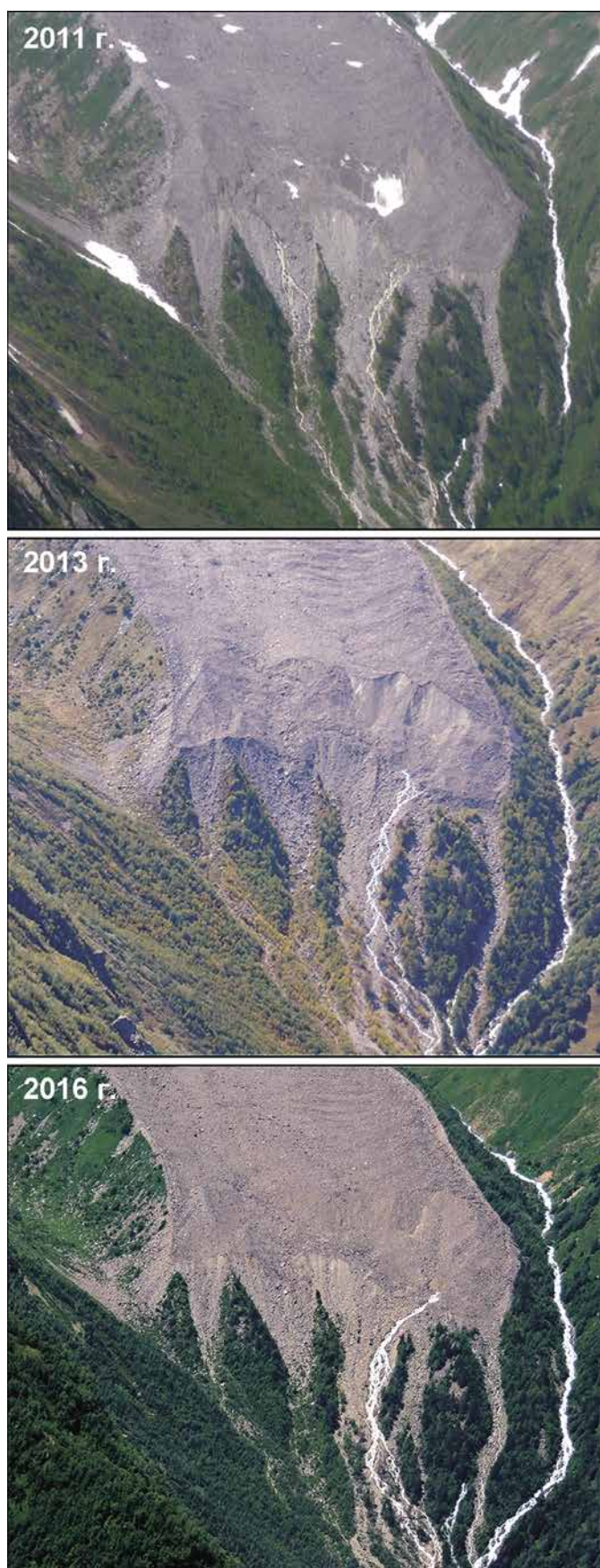


Рис. 4. Фотографии ледника Донгуз-Орун, сделанные с вертолёта в 2011, 2013 и 2016 гг. М.Д. Докукиным

Fig. 4. Photo of Donguz-Orun Glacier from a helicopter in 2011, 2013 and 2016 taken by M.D. Dokukin

ренами M1L и M3L. На его внешней стороне был обнаружен лишайник диаметром 60 мм, что примерно соответствует возрасту около двух столетий. Поскольку этот сохранившийся фрагмент составляет всего около 500 м в длину, лишенометрическая датировка не очень надёжна, так как площадь поверхности может быть меньше площади выявления максимального лишайника в популяции [15].

Наиболее чётко выраженная морена M3L, покрытая зарослями березняка и можжевельника, составляет внешнюю часть моренного комплекса левого борта и продолжается ниже конца ледника примерно на 0,5 км. Самый старый можжевельник, обнаруженный на этой морене, имел 333 годичных кольца (см. табл. 1). Таким образом, минимальный возраст морены M3L составляет около трёх с половиной столетий. Однако лишайники, поселившиеся на крупных валунах этой морены и имеющие максимальный диаметр до 105–114 мм, указывают на более древний её возраст. Для лишайников такого размера кривая роста на Кавказе не даёт надёжных оценок возраста. Он может составлять от трёх с половиной до семи столетий. С большой вероятностью можно утверждать, что береговые морены ледника многослойны и более молодые отложения перекрывают старые голоценовые морены. Не исключено, что лишайники диаметром более 100 мм принадлежат к одной из более древних стадий наступания, которые уже с трудом различаются в рельефе.

С правой стороны ледника чётко выражен один вал береговой морены свежего облика – M1R – незадернованный, нестабильный, с узким гребнем, без лишайников. В нижней половине языка с внешней стороны этого вала появляются фрагменты более старой морены M2R, покрытые берёзой и можжевельником. Лишайники, растущие на поверхности отложений правой береговой морены M2R, имеют максимальный диаметр 22 мм (возраст около 50 лет). Поверхность морен правого борта

более эродирована, чем у морен левого борта, поэтому их возраст, определённый по данным биоиндикации, может быть занижен.

Как уже было отмечено, классических конечных морен у ледника Донгуз-Орун нет. Поскольку конец ледника покрыт поверхностной мореной, переход от собственно фронта ледника к зоне мёртвых льдов выражен плохо. Конец ледника лежит на крутом уступе. Здесь поверхность моренных отложений периодически обновляется и их зарастание берёзами и соснами прерывается. Исследование сохранившихся фрагментов этих морен показывает, что время образования первого кольца самого старого дерева на этой поверхности – 1888 г. Учитывая скорость колонизации морен соснами (15–20 лет) и поправки на высоту бурения, можно предположить, что поверхность освободилась ото льда минимум 150 лет назад (не позднее 1864 г.). Примерно в 80 м от современного конца ледника растут сосны, первое кольцо у которых датировано 1893 и 1898 гг. Таким образом, учитывая поправки на скорость зарастания поверхности и высоту бурения, которые суммарно составляют около 20 лет, можно сделать вывод, что современный конец ледника лежит в пределах 100 м от того положения, где ледник находился во второй половине XIX в. Это – совершенно нехарактерно для ледников Кавказа, которые сократились за последнее столетие на сотни метров, а иногда и первые километры [9, 13].

Левая береговая морена M1L обрывается примерно у современного фронта ледника и заканчивается осыпью с внешней стороны моренного комплекса. Морена данной генерации по правому борту (M1R) оканчивается примерно на этом же уровне и также полуразмыта во фронтальной части долины. Внешние морены по обоим бортам ледника спускаются примерно до высоты 2270 м. Ясного замыкания в конечно-моренный комплекс этих морен нет, однако ниже указанной высотной отметки начинается резкое сужение долины, что даёт основание полагать, что в прошлые столетия ледник не опускался ниже этой высоты, т.е. был длиннее современного всего на 450 м. По вертикали это соответствует примерно 170 м. Точное время этого события пока оценить не удаётся. Можно с уверенностью говорить лишь о том, что это было более трёх с половиной столетий назад.

Данная оценка косвенно подтверждается возрастом отложений, накопившихся в озере, которое подпруживается левой береговой мореной ледника Донгуз-Орун. В 2012 г. сотрудники Института географии РАН провели керновое бурение этого озера. Поскольку осадки озера имеют годичную стратификацию, возраст нижнего слоя удалось примерно подсчитать, и он составляет около трёх с половиной столетий [25].

Заключение

На леднике Донгуз-Орун выделяются три генерации морен. Возраст наиболее молодой – неизвестен, но гипотетически она может быть соотнесена с наступанием ледника в начале XX в., описанным Н.А. Бушем в 1911 г. [18]. Две другие генерации морен, судя по биоиндикационным данным, имеют возраст около 200 и более 350 лет. Несмотря на приблизительность полученных нами датировок, эти выводы могут быть сопоставлены с данными о колебаниях других ледников Кавказа и в целом вписываются в общую картину. Морены начала XX в. обнаружены у большинства ледников этого региона [9, 13]. Например, наступание около 200 лет назад отмечалось у ледников Кашкаташ и Цея [13].

Наша датировка старой морены – более 350 лет – всего лишь минимальная оценка возраста, однако не исключено, что одно из значительных наступаний ледника произошло именно в это время. Середина XVII в. – это, как известно, пик малого ледникового периода, и наступание ледников в это время отмечалось во многих районах мира: между 1640 и ~1740 гг. – на Алтае, в 1640–70-е годы – на Аляске, с конца XVI до середины XVII в. – на юге Патагонии, с 1640-х до 1730-х годов – в тропических Андах. В Альпах датированы наступания в 1600, 1640 и 1680 гг. [26]. Во многих регионах наступания в XVII в. были максимальными по амплитуде за весь малый ледниковый период, а иногда и за голоцен [26]. Датировка морены XVII в. косвенно подтверждается независимыми данными по числу годовых слоёв осадков в оз. Донгуз-Орун, подпруженном левой боковой мореной. Длина ледника Донгуз-Орун с максимума его наступания до начала XXI в. уменьшались на 450 м. С конца XIX до начала XXI в. ледник почти не

изменился: судя по картографическим и дендрохронологическим данным его линейные размеры сократились примерно на 100 м. Инструментальные наблюдения показывают, что в 1970-х – начале 2000-х годов ледник Донгуз-Орун наступил примерно на 120 м, что нетипично для кавказских ледников.

Благодарности. Мы благодарны нашим коллегам, помогавшим в проведении полевых работ и в обработке данных, – А.Д. Олейникову, В.Н. Михаленко, В.В. Кузнецовой, В.В. Мацковскому, М.Ю. Александрину. Большую помощь оказал Г.А. Носенко, предоставивший аэрофотоснимки и фотографии на этот регион. Важные замечания были сделаны рецензентом статьи Н.А. Во-

лодичевой и ответственным секретарём редколлегии журнала О.В. Рототаевой, которым мы очень признательны. Работа финансировалась по базовой теме госзадания № 0148-2018-0005 и по программе П 51.

Acknowledgments. The authors are grateful to our colleagues, who helped us in field work and data processing – A.D. Oleinikov, V.N. Mikalenko, V.V. Kuznetsova, V.V. Matskovsky, M.Y. Alexandrin. A great help was provided by G.A. Nosenko, who provided aerial photographs of this region. We are also grateful to our reviewer N.A. Volodicheva and executive secretary O.V. Rototaeva. The work was funded by the basic theme of the government task № 0148-2018-0005 and the program of the П51.

Литература

1. Contribution of Working Group I to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5). Climate Change, 2013: The Physical Science Basis Chapter 2: Observations: Atmosphere and Surface – Final Draft 147 Underlying Scientific–Technical Assessment. Switzerland, 2013. 165 p.
2. *Oerlemans J.* Atmospheric science: Extracting a climate signal from 169 glacier records // *Science*. 2005. V. 308. № 5722. P. 675–677. doi: 10.1126/science.1107046.
3. Каталог ледников СССР: Т. 8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Ч. 5 Северный Кавказ. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 145 с.
4. *Соломина О.Н., Бушуева И.С., Кудерина Т.М., Мацковский В.В., Кудиков А.В.* К голоценовой истории ледника Уллукам // *Лёд и Снег*. 2012. Т. 52. № 1. С. 85–94. doi: 10.15356/2076-6734-2012-1-85-94.
5. *Dechy M.* Kaukasus Reisen und Forschungen im kaukasischen Hochgebirge. Bd. 1. 348 S.; Bd. 2, 346 S. Berlin, 1905.
6. *Freshfield Douglas W.D.* The exploration of the Caucasus: V. 1. London and New York, 1896. 278 p.
7. *Рейнгард А.Л.* Снеговая граница в Западном Кавказе между Эльбрусом и Марухом // *Изв. Кавказского отдела РГО*. 1916. Т. 24. С. 275–332.
8. *Орешникова Е.И.* Ледники Эльбрусского района по исследованиям 1932–1933 гг. // *Тр. ледниковых экспедиций. Кавказ: Вып. 3. М., 1963. С. 239–297.*
9. *Solomina O., Bushueva I., Dolgova E., Jomelli V., Alexandrin M., Mikhalenko V., Matskovskiy V.* Glacier variations in the Northern Caucasus compared to climatic reconstructions over the past millennium //

References

1. Contribution of Working Group I to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5). Climate Change, 2013: The Physical Science Basis Chapter 2: Observations: Atmosphere and Surface – Final Draft 147 Underlying Scientific- Technical Assessment. Switzerland, 2013: 165 p.
2. *Oerlemans J.* Atmospheric science: Extracting a climate signal from 169 glacier records. *Science*. 2005, 308 (5722): 675–677. doi: 10.1126/science.1107046.
3. *Katalog lednikov SSSR.* USSR Glacier Inventory. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1970, 8 (5): 145 p. [In Russian].
4. *Solomina O.N., Bushueva I.S., Kuderina T.M., Matskovsky V.V., Kudikov A.V.* Holocene history of the Ullukam Glacier. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2012, 52 (1): 85–94. doi: 10.15356/2076-6734-2012-1-85-94. [In Russian].
5. *Dechy M.* Kaukasus Reisen und Forschungen im kaukasischen Hochgebirge. Bd.1. Berlin, 1905: 346 S.
6. *Freshfield Douglas W.D.* The exploration of the Caucasus: V. 1. London and New York, 1896: 278 p.
7. *Reingard A.L.* The snow border between Elbrus and Marukh on the Western Caucasus. *Izvestiya CORGO. News of Caucasian Branch of the Russian Geogr. Society*. 1916, 24: 275–332. [In Russian].
8. *Oreshnikova E.I.* Glaciers of the Elbrus region by research 1932–1933. *Trudy glyatsiologicheskikh ekspeditsiy. Kavkaz. Materials of glacial expeditions. The Caucasus*. 1963, 3: 239–297. [In Russian].
9. *Solomina O., Bushueva I., Dolgova E., Jomelli V., Alexandrin M., Mikhalenko V., Matskovskiy V.* Glacier variations in the Northern Caucasus compared to climatic reconstructions over the past millennium. *Global and Planetary Change*. 2016, 140: 28–58. doi: 10.1016/j.gloplacha.2016.02.008.
10. *Metody dendrochronologii. Osnovy dendrokronologii i poluchenie drevesno-kol'cevoy informatsii.* Methods of

- Global and Planetary Change. 2016 b. T. 140. P. 28–58. doi: 10.1016/j.gloplacha.2016.02.008.
10. Методы дендрохронологии: Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации / Под ред. Е.А. Ваганова, С.Г. Шиятова. Красноярск: Изд. центр Красноярского гос. ун-та, 2000. 82 с.
 11. Cook E.R., Kairiukstis L.A. Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences. Dordrecht: Kluwer, 1990. 394 p. doi: 10.1007/978-94-015-7879-0.
 12. Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree ring dating and measurements // Tree-ring Bulletin. 1983. V. 44. P. 69–75.
 13. Бушueva И.С. Колебания ледников на Центральном и Западном Кавказе по картографическим, историческим и биоиндикационным данным за последние 200 лет: Дис. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. М.: Ин-т географии РАН, 2013. 169 с.
 14. Koch J. Improving age estimates for late Holocene glacial landforms using dendrochronology – some examples from Garibaldi Provincial Park, British Columbia // Quaternary Geochronology. 2009. № 4. P. 130–139. doi: 10.1016/j.quageo.2008.11.002.
 15. Innes J.L. Lichenometry // Prog. Physical Geography. 1985. V. 9. № 2. P. 187–254. doi: 10.1177/030913338500900202.
 16. Мушкетов И.В. Исследование ледников России в 1897 г. // Изв. Русского геогр. о-ва. 1899. Т. 35. Вып. 2. С. 228–230.
 17. Дубянский В.В. На Эльбрус по Баксану (Из путевых воспоминаний участника восхождения на зап. Вершину Эльбруса 3 авг. 1908 г.). Пятигорск: Тип. Сукиасянц и Лысенко, 1911. 128 с. – Приложение к № 4 Ежегодника Кавказского горного об-ва в Пятигорске 1910 г.
 18. Буш Н.А. О состоянии ледников северного склона Кавказа в 1907, 1909, 1911 и 1913 годах // Изв. РГО. 1914. Т. 50. Вып. 9. С. 461–510.
 19. Подозерский К.И. Ледники Кавказского хребта // Зап. Кавказского отделения Императорского Русского геогр. о-ва. 1911. Кн. 29. Вып. 1. 200 с.
 20. Альтберг В.Я. О состоянии ледников Эльбруса и Главного Кавказского хребта в долине р. Баксан в период 1925–1927 гг. // Изв. Гос. гидрол. ин-та. 1928. Т. 22. С. 79–89.
 21. Ковалев П.В. Современное оледенение бассейна реки Баксан // Материалы Кавказской экспедиции по программе МГГ: Т. II. Харьков, 1961. С. 3–106.
 22. Панов В.Д., Ильичев Ю.Г., Салпагаров А.Д. Колебания ледников Северного Кавказа за XIX–XX столетия // Тр. Тебердинского заповедника. 2008. Вып. 47. 330 с.
 23. Зимницкий А.В., Ефремов Ю.В. Современное состояние и динамика приледниковых озер бас- dendrochronology. Fundamentals of dendrochronology. Collection and reception of tree-ring information. Part. 1. Ed. by E.A. Vaganov, S.G. Shiyatov. Krasnoyarsk: Ed. center of KSU, 2000: 82 p. [In Russian].
 11. Cook E.R., Kairiukstis L.A. Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences. Dordrecht: Kluwer, 1990: 394 p. doi: 10.1007/978-94-015-7879-0.
 12. Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree ring dating and measurements. Tree-ring Bulletin. 1983, 44: 69–75.
 13. Bushueva I.S. Fluctuations of glaciers on the Central and Western Caucasus using cartographical, historical and proxy data over the last 200 years. PhD. Moscow: Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, 2013: 169 p. [In Russian].
 14. Koch J. Improving age estimates for late Holocene glacial landforms using dendrochronology – some examples from Garibaldi Provincial Park, British Columbia. Quaternary Geochronology. 2009, 4: 130–139. doi: 10.1016/j.quageo.2008.11.002.
 15. Innes J.L. Lichenometry. Prog. Physical Geography. 1985, 9 (2): 187–254. doi: 10.1177/030913338500900202.
 16. Mushketov I.V. Study of Russian glaciers in 1898. Izvestiya Imperatorskogo RGO. News of the Russian Geogr. Society. 1899, 35 (2): 228–230. [In Russian].
 17. Dubyansky V.V. Na Elbrus po Baksanu (Iz putevykh vospominaniy uchastnika voshohzdeniya na zapadnuyu vershinu Elbrusa 3 avgusta 1908). To Elbrus by Baksan (From travel memories of the ascender to the western peak of Mount Elbrus, Aug. 3, 1908). Pyatigorsk: Sukiasyants and Lysenko, 1911: 128 p. [In Russian].
 18. Bush N.A. About state of glaciers of the Northern slope of the Caucasus in 1907, 1909, 1911 and 1913. Izvestiya RGO. News of the Russian Geogr. Society. 1914, 50 (9): 461–510. [In Russian].
 19. Podozersky K.I. Glaciers of the Caucasus Range. Zapiski Kavkazskogo otdeleniya Imperatorskogo Russkogo geograficheskogo obshchestva. Notes of the Caucasian Branch of the Imperial Russian Geographical Society. 1911, 29 (1): 200 p. [In Russian].
 20. Altberg V.J. About the state of glaciers of Elbrus and the Greater Caucasus mountain range in the basin of Baksan River during 1925–1927. Izvestiya GGI. News of the State Hydrological Institute. Leningrad, 1928, 22: 79–89. [In Russian].
 21. Kovalev P.V. Modern glaciation of the Baksan river basin. Materialy Kavkazskoy ekspeditsii po programme MGG. Materials of the Caucasian expedition on IGY program: T. II. Kharkov, 1961: 3–106. [In Russian].
 22. Panov V.D., Ilichev Y.G., Salpagarov A.D. Fluctuations of the glaciers of the North Caucasus in XIX–XX. Trudy Teberdinskogo zapovednika. Materials of the Teberda Reserve. 2008, 47: 330 p. [In Russian].
 23. Zimnitsky A.V., Efremov Yu.V. Current state and dynamics of the preglacial lakes of the basin of the river. Baksan. Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii «Preduprezhdeniye opasnykh situatsiy v vysokogornyykh rayonakh». Abstracts of the Intern. Conf. «Prevention

- сейна р. Баксан // Тез. докл. Междунар. конф. «Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах». Владикавказ, 2004. С. 61–62.
24. Динник Н.Я. Горы и ущелья Терской области // Изв. Кавказского отделения Русского геогр. о-ва. 1884. Т. XIII. № 1. С. 1–48.
25. Дарьин А.В., Александрин М.Ю., Калугин И.А., Соломина О.Н. Связь метеорологических данных с геохимическими характеристиками современных донных осадков оз. Донгуз-Орун, Кавказ // ДАН. 2015. Т. 463. № 5. С. 1–5. doi: 10.7868/S0869565215230176.
26. Solomina O., Bradley R.S., Jomelli V., Geirsdottir A., Kaufman D.S., Koch J., McKay N.P., Masiokas M., Miller G., Nesje A., Nicolussi K., Owen L.A., Putnam A.E., Wanner H., Wiles G., Yang B. Glacier fluctuations during the past 2000 years // Quaternary Science Reviews. 2016. 149. P. 61–90. doi: 10.1016/j.quascirev.2016.04.008.
- of Dangerous Situations in High-Mountain Areas». Vladikavkaz, 2004: 61–62. [In Russian].
24. Dinnik N.J. Mountains and gorges of the Terek region. *Izvestiya Kavkazskogo otdeleniya Russkogo Geograficheskogo Obshchestva*. News of the Caucasian branch of the Russian Geographical Society. 1884, 13 (1): 1–48. [In Russian].
25. Darin A.V., Alexandrin M.Y., Kalugin I.A., Solomina O.N. Influence of meteorological conditions on the geochemistry of modern bottom sediments exemplified by deposits of Donguz-Orun Lake, Caucasus. *Doklady Earth Sciences*. 2015, 463 (5): 842–846. doi: 10.1134/S1028334X15080097.
26. Solomina O., Bradley R.S., Jomelli V., Geirsdottir A., Kaufman D.S., Koch J., McKay N.P., Masiokas M., Miller G., Nesje A., Nicolussi K., Owen L.A., Putnam A.E., Wanner H., Wiles G., Yang B. Glacier fluctuations during the past 2000 years. *Quaternary Science Reviews*. 2016, 149: 61–90. doi: 10.1016/j.quascirev.2016.04.008.