

На правах рукописи

БУШУЕВА Ирина Сергеевна

**Колебания ледников
на Центральном и Западном Кавказе
по картографическим, историческим и
биоиндикационным данным за последние 200 лет**

**Специальность 25.00.31 –
гляциология и криология Земли**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата географических наук**

МОСКВА – 2013 г.

Работа выполнена в отделе гляциологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт географии Российской академии наук

Научный руководитель:

чл.-корр. РАН

доктор географических наук

Ольга Николаевна Соломина

Официальные оппоненты:

академик НАН РК

доктор географических наук

Игорь Васильевич Северский

почетный директор Института географии НАН РК

кандидат географических наук

Наталья Андреевна Володичева

доцент кафедры криолитологии и гляциологии МГУ им. Ломоносова

Ведущая организация:

Высокогорный геофизический институт Росгидромета, г.Нальчик

Защита состоится «29» ноября 2013 г. в 11 часов на заседании Диссертационного совета Д 002.046.04 в Институте географии Российской Академии наук по адресу: 119017 Москва, Старомонетный пер., 29

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института географии РАН по адресу: 119017 Москва, Старомонетный пер., 29

Автореферат разослан «28» октября 2013 г.

Отзывы на автореферат (в электронном виде и на бумаж. носителях в двух экземплярах, заверенных печатью) просим направлять по адресу: 119017 Москва, Старомонетный пер., 29, ученому секретарю Диссертационного совета Д 002.046.04. Факс: 8-(495) 959-00-33, e-mail: direct@igras.ru

Ученый секретарь

диссертационного совета,

кандидат географических наук



И.С. Зайцева

Актуальность темы. История изучения горного оледенения Кавказа насчитывает уже полтора столетия (Abich, 1875), и в этой области достигнут существенный прогресс. Однако, по сравнению со многими другими горноледниковыми районами Земного шара (Альпы, Скалистые горы, горы Скандинавии и др.), детальность кавказских реконструкций еще очень низка, а основания для многих выводов – шаткие; многие эпизоды ледниковой истории все еще покоятся на аналогиях с альпийской историей. Серьезную проблему представляют пространственные привязки положений концов ледников и их морен. До сих пор для подавляющего большинства ледников Кавказа имеются лишь самые общие схемы расположения концов, которые ни в какой мере не отвечают возможностям современной картографии. Отсутствие таких привязок осложняет, а в ряде случаев и просто делает невозможным использование богатейших материалов по колебаниям концов ледников в XX в., собранных несколькими поколениями кропотливых исследователей (Динник, 1890; Буш, 1905; 1914; Мекк, 1906; Подозерский, 1911; Соловьев, 1933; Орешникова, 1936; Тушинский, 1949; 1968; Ковалев, 1959; 1960; 1961; 1962; 1964; Кушев, 1962; Турманина, 1971; 1979; Серебрянный и др., 1984; Золотарев, 1999; 2009; Сейнова, Золотарев, 2001; Панов и др., 2008 и др.). Только точное пространственное позиционирование границ ледников дает возможность создать непрерывные ряды изменений длины, площади и объема ледников, продлить их в прошлое при помощи исторических и биоиндикационных методов, использовать для моделирования.

Активное использование биоиндикационных и радиометрических методов для датирования морен Кавказа началось в 1970-х гг. (Турманина, 1971; Серебрянный и др., 1984 и др.). Особенно успешно на первом этапе здесь применялся метод лихенометрии (Турманина, 1971; Серебрянный и др., 1984; Сейнова, Золотарев, 2001). За последние годы, однако, высказывалось мнение о том, что единая кривая роста лишайников не может быть представительной для разных районов Кавказа (Соломина, 1999), возникла потребность обобщить лихенометрические данные на новом уровне и выработать соответствующие рекомендации. Дендрохронология на Кавказе до сих пор использовалась для датирования морен в очень ограниченном объеме (Marcinek, 1998; Долгова и др., 2007). Между тем, возможности для применения этого метода здесь очень велики. Радиоуглеродные датировки морен на Кавказе до сих пор единичны (Соломина и др., 2013), датировки по космогенным изотопам для этой цели пока не использовались.

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

Цель работы – создание и анализ детальных пространственно-временных реконструкций ледников Северного Кавказа за последние столетия.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- Сбор и обобщение гляциологических, геоморфологических, исторических и картографических материалов для создания крупномасштабных ортофотопланов колебаний ледников Алибек, Кашкаташ, Терскол, Уллукам, Безенги, Мижирги и Цея.

- Оценка точности и надежности картографических и исторических данных.

- Лихенометрическое и дендрохронологическое датирование ледниковых отложений форм рельефа (морен, бараньих лбов, участков зандров и пр.).

- Анализ пространственно-временных закономерностей прироста лишайников-индикаторов возраста (*Rhizocarpon spp.*) на моренах Северного Кавказа.

- Построение реконструкций семи ледников Северного Кавказа с точной пространственной привязкой положений концов ледников за последние столетия.

- Расчет изменения основных параметров ледников (длины, площади, высоты конца и объема) на основе полученных реконструкций и имеющихся простых моделей.

- Сравнение полученных результатов с реконструкциями колебаний ледников в других горных странах.

Научная новизна работы. Впервые для данного региона созданы детальные реконструкции положения концов семи ледников (Алибек, Кашкаташ, Терскол, Уллукам, Безенги, Мижирги и Цея), имеющие точную пространственную привязку. На основе исторических, радиоуглеродных и биоиндикационных данных получены новые датировки морен и других ледниковых форм рельефа. Впервые по крупномасштабным картам по единой методике рассчитаны параметры семи реперных ледников на разные временные срезы за последние 200 лет, оценено изменение их объемов.

Защищаемые положения.

1. Зафиксировано пространственное положение концов ледников Алибек, Кашкаташ, Терскол, Уллукам, Безенги, Мижирги и Цея на 9 - 21 временных срезах. Для них определены основные параметры: длина, площадь и объем ледников.

2. На основе дендрохронологического датирования установлено, что за последние 500 лет ледники Северного Кавказа дважды достигали максимальных размеров: более 400 л.н. и в 1840-х гг. Депрессия границы питания ледников для последней максимальной стадии наступания, по сравнению с современной, составляла от 70 до 200 м. Длина ледников сократилась к настоящему времени на 12 – 34 %, площадь – на 3 - 33%, объем – на 4- 38 %.

3. На основе независимых исторических и дендрохронологических данных установлен возраст 24 новых реперных поверхностей, уточняющих кривую роста лишайников-индикаторов (*Rhizocarpon spp.*) на моренах Северного Кавказа.

4. Выявлены черты сходства и различия в динамике оледенения Северного Кавказа с ледниками других районов умеренных широт, в частности, Альп, Канадских Кордильер и Патагонии. Во всех районах отмечаются два максимальных наступания ледников в XVII и первой половине XIX-го вв. и устойчивый тренд к сокращению в последние полтора века. Обнаруживается некоторое сходство и в этапах наступания ледников на уровне внутривековых колебаний (1870-е - 1890-е, 1910-е, 1920-е, 1970-е - 1980-е гг.).

Личный вклад автора. Автор проводил поиск и анализ имеющихся материалов о колебаниях ледников, анализ исторических материалов, фотограмметрический и картографический анализ данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и карт, дешифрирование данных ДЗЗ, принимал участие в полевых работах на Центральном и Западном Кавказе по отбору образцов, необходимых для датирования морен. Создание и анализ реконструкций также является самостоятельной работой автора.

Практическая значимость работы. Созданные реконструкции позволяют с большей достоверностью оценить долгосрочные тенденции изменений ледников Северного Кавказа. Это важно для построения региональных климатических реконструкций, которые, в свою очередь, необходимы для понимания климатической изменчивости в регионе в целом. Крупномасштабные реконструкции колебаний ледников в ключевых районах

важны для верификации реконструкций, выполненных в более мелком масштабе. Новые реперные точки, введенные в научный оборот в этой работе, позволяют получать более надежные результаты при использовании лихенометрического метода датирования на Северном Кавказе. Сведения об истории оледенения и изменчивости плановых размеров и объемов ледников в прошлом важно также для оценки водозапаса и прогноза их изменений в будущем.

Апробация работы. Основные положения диссертации были доложены на российских и международных конференциях: Международных конференциях PAGES на Гоа (2-я встреча молодых ученых и 4-я открытая научная встреча, 2013, Индия), Международной осенней встрече Американского геофизического союза в Сан-Франциско (2012, США), 4-й Молодежной научной школе-конференции «Природные и природно-антропогенные геосистемы: мировой и региональный опыт исследований» в Курске (2012, Россия), Международном гляциологическом симпозиуме в Архангельске (2012, Россия), Международной конференции молодых ученых «Взаимодействие суши-океана и атмосферы в меняющемся мире» в Калининграде (2011, Россия), 25-й Международной картографической конференции в Париже (2011, Франция), 2-й Молодежной научной школе «Природные и природно-антропогенные геосистемы: организация, изменения во времени» в Курске (2011, Россия), конференции по созданию программы Международного полярного десятилетия в Сочи (2010, Россия), школе-семинаре молодых ученых «Изменение климата и экосистем горных территорий» в Кисловодске (2010, Россия), Международном гляциологическом симпозиуме в Казани (2010, Россия), Международной конференции AGILE в Гуимаранче (2010, Португалия), семинаре SPIRIT в Тулузе (2010, Франция), ежегодной Международной научно-практической конференции «География: проблемы науки и образования. LXIII Герценовские чтения» в Санкт-Петербурге (2010, Россия), 3-й международной научной конференции молодых ученых и талантливых студентов в Москве (2009, Россия), Международной конференции «Гляциология в XXI века» в Москве (2009, Россия) и семинарах отдела гляциологии Института географии РАН.

Структура и объём работы. Диссертационная работа изложена на 169 страницах машинописного текста и состоит из введения, четырёх глав, заключения и приложения. Список литературы включает 166 наименований, в том числе 49 - на иностранных языках. Текст иллюстрирован 68 рисунками и содержит 11 таблиц.

Глава 1. Физико-географическая характеристика района исследования.

В работе анализируются колебания семи ледников Большого Кавказа: Алибек, Безенги, Мижирги, Кашкаташ, Терскол, Уллукам и Цея. Они расположены от бассейна реки Теберда на западе до бассейна р. Цейдон на востоке (рисунок 1). Расстояние между самым западным и восточным районами исследования составляет около 200 км. Все районы расположены на северном макросклоне Кавказа, но отличаются друг от друга местными особенностями: орографией, климатом, типом оледенения и т.д.



Рисунок 1. Район работ. Исследованные ледники.

Общая площадь современного оледенения Северного Кавказа по состоянию на 2000 г. равна $853,6 \text{ км}^2$, а число ледников составляет 1521 (Панов и др., 2008). Ледники относятся к бассейнам двух морей: Азовского и Каспийского. По отдельным речным бассейнам оледенение распространено весьма неравномерно.

Первые описания ледников Кавказа были сделаны академиком Г.В. Абигом в середине XIX в. (Abich, 1875). Во второй половине XIX в. основным источником информации о положении и состоянии ледников Северного Кавказа являются описания путешественников и исследователей:

Г. Мерцбахера (Merzbacher, 1901), Г. Бурмейстера (Burmester, 1913), М. фон Деши (Dechy, 1905), Н.А. Динника (1884, 1890) и других. В 1881 г. Корпусом военных топографов были начаты работы по созданию одноверстной карты, на которой были показаны границы ледников. Работы продолжались до 1890 г. В конце XIX в. несколько экспедиций по исследованию ледников Кавказа было организовано Императорской академией наук: К.Н. Россикова (1894;1896;1898), Н.В. Жукова (1889-1891), И.В. Мушкетова (1882; 1897; 1898; 1899). В это же время начинают появляться первые фотографии ледников Кавказа. Большое количество снимков было получено во время трех экспедиций В. Селлы. На рубеже веков подробные описания ледников Кавказа сделал Н.А. Буш (1905, 1914). В 1911 г. вышел первый каталог ледников Кавказа, сформированный К.А. Подозерским (1911). В каталоге приведена краткая характеристика всех ледниковых групп Кавказского хребта с указанием площади каждого ледника. В 1920-х гг. на Кавказе работал В.Я. Альтберг (1928), он описывал и фотографировал ледники. В начале XX в. множество фотографий было сделано Г.И. Раевым, но, к сожалению, его коллекция рассеяна по разным архивам, и найти и идентифицировать его снимки непросто. Исследования ледников Северного Кавказа во время второго Международного полярного года (1932 г.) подробно описаны в работе Е.И. Орешниковой (1936). В 1946 г. была проведена первая масштабная аэрофотосъемка Северного Кавказа, которая позволяет точно восстановить границы ледников для этого времени. Важным этапом в изучении ледников Кавказа стал Международный геофизический год, проводившийся в 1957-1958 гг. Наиболее близкими к нашей теме являются работы этого времени, принадлежащие Г.К.Тушинскому (1949, 1958), П.В. Ковалеву (1960, 1961, 1964), А.В. Брюханову (1958), В.Б. Нефедовой (1958). В 1957 г. была проведена вторая аэрофотосъемка Кавказа. В 1960-х и 1970-х гг. подробные описания состояния ледников Кавказа были выполнены С.Л. Кушевым (1962, 1964). В это же время начались первые биоиндикационные исследования морен на Кавказе (Турманина, 1971). С 1968 г. силами сотрудников географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова начались ежегодные масс-балансовые измерения на леднике Джанкуат. В 1970-х гг. на предпольях ледников Кавказа работала экспедиция под руководством Л.Р. Серебрянного (Серебрянный и др., 1984). В 1987 г. была проведена ещё одна аэрофотосъемка Северного Кавказа в более крупном масштабе, чем предыдущие. Сравнение аэрофотоснимков наглядно показывает динамику ледников во второй половине

XX в. В последние годы за колебаниями ледников Кавказа наблюдают сотрудники Северо-Кавказского УГМС и Ростовского педагогического университета (Панов и др., 2008), географического факультета МГУ им. Ломоносова (Природные процессы на территории Кабардино-Балкарии, 2004; Золотарёв, 2009) и Института географии РАН (Рототаева и др., 2003).

Первые обобщения сведений о колебаниях ледников Кавказа были выполнены еще И.С.Щукиным (1926). Более поздние подробные работы в этом направлении принадлежат П.В. Ковалеву (1961; 1962), Л.Р. Серебрянному (1984; 1989), В.Д. Панову (Панов и др., 2008), Н.А. Володичевой (Marchinek, 1998; Володичева, Войтковский, 2004), Е.А. Золотареву (Золотарев, 2009; Сейнова, Золотарёв, 2004). Данные дистанционного зондирования использовались для оценки изменений ледников, начиная с середины XX в. (Кравцова, 1959; Соломина, 1999; Stokes et al., 2007; Котляков и др., 2008; Золотарев, 2009; Носенко и др., 2010 и др.).

Глава 2. Методы исследования.

Для решения поставленных задач были использованы современные методы гляциологии, картографии, фотограмметрии, геоморфологии и палеогеографии. Обработка данных дистанционного зондирования проводилась в современных программных продуктах (ERDAS IMAGINE 2011) с учетом требований к точности аэрокосмических методов. Привязка карт, планов и схем осуществлялась в программе ArcGIS 9.3 и 10.0 по координатной сетке (при её наличии) или по характерным точкам рельефа (при отсутствии координатной сетки). В качестве основной проекции была выбрана проекция UTM на эллипсоид WGS-84 (соответствующая зона), поэтому если исходные данные были в другой проекции, то они трансформировались в основную. Дешифрирование границ ледников выполнялось вручную в программе ArcGIS 9.3 и 10.0. В случаях, когда границы ледников плохо читались на снимках, привлекались фотографии, а также данные ДЗЗ визуализировались в трехмерном виде с использованием глобальной цифровой модели рельефа (GDEM). В работе использовался метод повторной фотографии, который позволил восстановить некоторые границы ледников.

Для датирования моренных комплексов применялись дендрохронологический, лихенометрический методы, вспомогательную роль сыграли датировки по космогенным изотопам углерода (^{14}C) и бериллия (^{10}Be). Отбор и анализ образцов древесины (керны и спилы) проводился в

соответствии с общепринятыми методическими требованиями древесно-кольцевого анализа (Шиятов и др., 2000). Измерения ширины годовичных колец произведены на полуавтоматической установке LINTAB с точностью 0,01 мм. Далее данные по ширине годовичных колец подвергались перекрестной датировке в программе TSAP-Win с последующей проверкой в программе COFESHA (Holmes, 1983). Лихенометрическая съемка на моренах и зандровых поверхностях исследуемых ледников проводилась по стандартной методике (Соломина, 1999). На каждой моренной гряде определялись максимальные диаметры самых крупных особей корковых лишайников *Rhizocarpon spp.* Общее число замеров лишайников (по одному на каждом крупном валуне, который имеет не менее 50 см в диаметре) составляло несколько десятков, по возможности, до ста особей.

Расчет основных параметров ледников (длина, площадь, высота конца ледника и объем) проводился в программном продукте ArcGIS 10.0. Первые три параметра оценивались с помощью стандартных функций ArcMap 10.0. Объемы ледников рассчитывались с помощью эмпирических зависимостей площади от объема, предложенных С. Адхикари и С. Дж. Маршаллом (Adhikari and Marshall, 2012), по формуле Мазо-Глазырина (Мачерет и др., 2013), а также по модели GlapTop, позволяющей реконструировать ложе ледника (Linsbauer et al., 2012). Для удобства эта модель была запрограммирована в виде инструмента (toolbox) для ArcMap.

Глава 3. Реконструкции колебаний ледников Западного и Центрального Кавказа.

В этой главе приводятся описания данных, использованных для создания пространственно-временных реконструкций колебаний семи ледников Западного и Центрального Кавказа. Ледники выбраны по принципу их изученности, наличия материалов, необходимых для реконструкций (гляциологические наблюдения, космические и аэрофотоснимки, исторические данные, биоиндикационные возможности), их доступности для полевых работ, репрезентативности для Западного и Центрального Кавказа.

Ледник Кашкаташ

Используя картографические, геоморфологические и биоиндикационные методы исследования, мы реконструировали положение ледника Кашкаташ за последние четыре столетия. Самая удаленная от ледника морена датируется по дендрохронологическим источникам XVII в. (старше 1660-х гг.). На морену

XVII в. налегает морена 1840-х гг., возраст которой установлен на основе перекрестного датирования годовых колец дерева, поврежденного в результате этого наступания. Ближе к леднику располагаются еще три моренные генерации, поросшие сосновым лесом, которые образовались в период между 1870-ми и 1880-ми гг. Они имеют схожий облик и практически не различаются по дендрохронологическим и лишенометрическим данным. Под ригелем ледника располагаются еще две морены, которые только начинают зарастать лесной растительностью. По историческим и картографическим данным, они образовались в 1910-х и 1920-х гг. Начиная с 1890-го года по настоящий момент мы восстановили еще 14 положений конца языка ледника Кашкаташ (рисунок 2). За этот период ледник сократился почти на 700 м, уменьшился по площади на 0,24 км², а конец языка поднялся на 225 м.

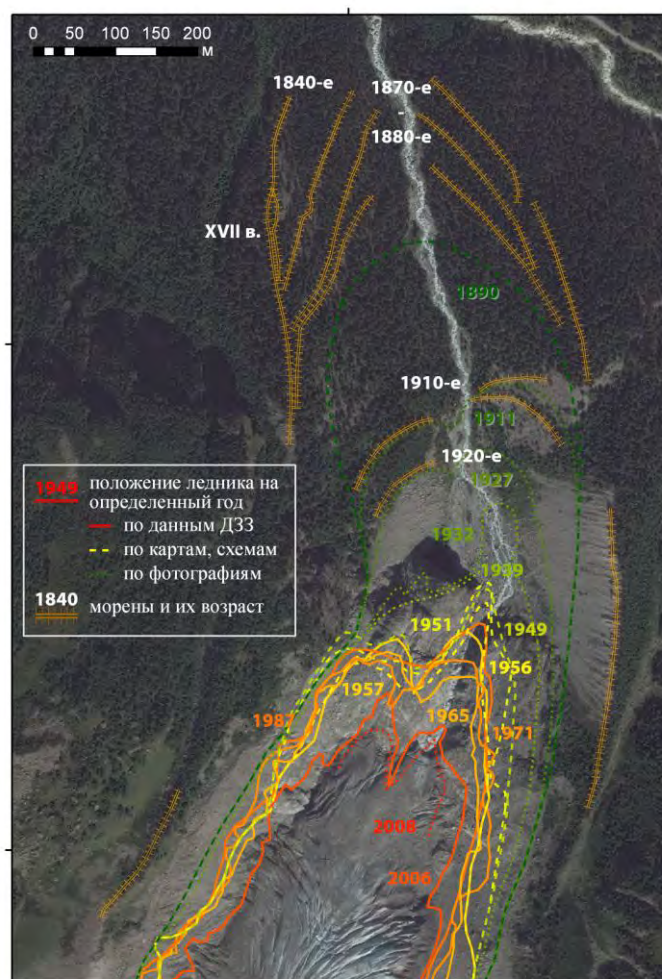


Рисунок 2. Динамика ледника Кашкаташ по картографическим, историческим и биоиндикационным данным

Ледник Уллукам

В этой работе впервые положение конца ледника Уллукам в конце XIX -

начале XXI вв. (на 10 временных срезов) получило точную пространственную привязку (рисунок 3). Отступление конца ледника с 1884 по 2009 гг. составило 730 м. С начала 1970-х по конец 1980-х гг. ледник наступил на 36 м, причем половина этого наступания произошла в период с 1983 по 1986 гг. Возможно, ледник также наступал в 1930-х гг. В комплексе свежих молодых морен ледника Уллукам выделено три стадии наступания примерно равной амплитуды. Во время этих наступаний ледник был на 840 м длиннее, чем в 2009 г. Два последних наступания, с большой вероятностью, относятся к первой трети – середине XIX в. и к 1870-м гг. Возраст базального горизонта погребенной почвы, обнаруженной на расстоянии 1,5 км от конца ледника, по данным радиоуглеродного датирования, составляет 3580 ± 80 л.н. Ненарушенность этого почвенного профиля свидетельствует о том, что ледник не спускался более чем на 300 м по высоте вниз по долине, по крайней мере, в последние четыре тысячелетия.

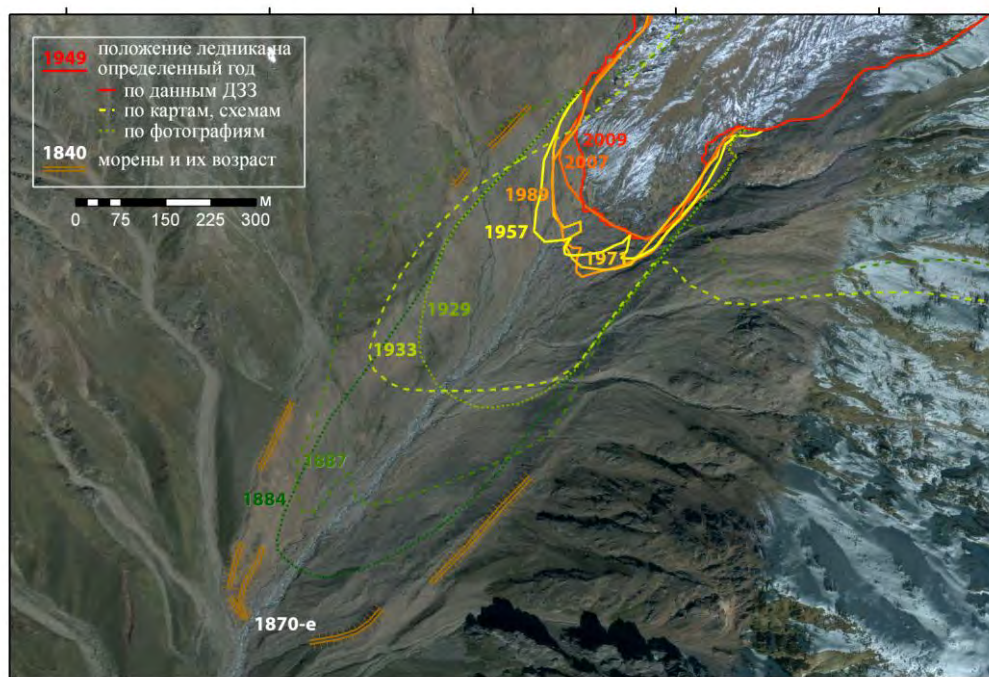


Рисунок 3. Динамика ледника Уллукам по картографическим, историческим и биоиндикационным данным

Ледник Терскол

С начала 1880-х гг. по 2009 г. ледник Терскол сократился по длине на 900 м в плане, а язык ледника поднялся на 400 м (рисунок 4). По данным дистанционного зондирования ледник наступал в 1970-х – 1980-х гг., что согласуется с данными инструментальных наблюдений. По историческим

источникам были датированы морены 1910-х гг., 1920-х гг., 1880-х – 1890-х гг. Ниже по долине имеются еще четыре вала, свидетельствующие о более ранних наступаниях ледника, которые хорошо читаются в рельефе и имеют свежий облик. На photographиях конца XIX в. эти валы не покрыты растительностью. Внешний вал, по дендрохронологическим данным, имеет минимальный возраст 160-180 лет (см. рисунок 4). На внешней периферии этого моренного комплекса имеются неясные следы более древних морен частично перекрытых селевыми отложениями. Дендрохронологическое датирование показывает, что в течение последних трехсот лет ледник Терскол не продвигался ниже высоты 2540 м, т.е. депрессия границы питания не превышала 230 м по сравнению с современной.

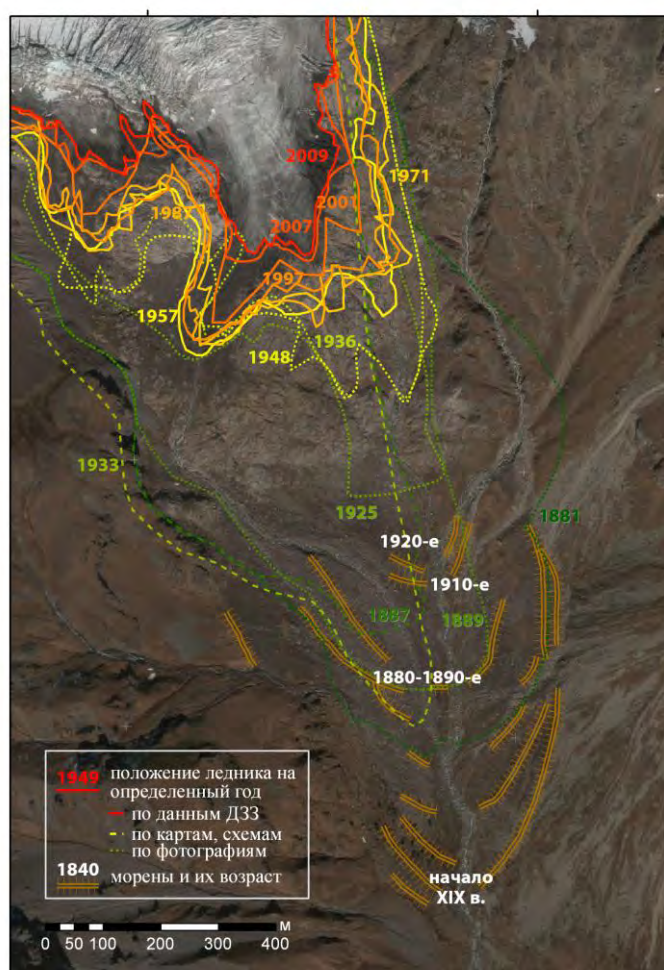


Рисунок 4. Динамика ледника Терскол по картографическим, историческим и биоиндикационным данным

Ледник Алибек

На рис. 5 показано пространственное положение конца ледника Алибек на 1895, 1904, 1957, 1987, 2007, 2008 и 2012 гг. По дендрохронологическим данным определен минимальный возраст морен первой трети XX в. и середины

XIX в. За последним комплексом морен (на высоте 1865 м) обнаружено дерево возрастом 300 лет, что свидетельствует об отсутствии здесь ледника как минимум последние три столетия. С середины XIX в. ледник Алибек сократился в длину на 650 м, по площади – на 0,67 км², а высота конца ледника повысилась на 110 м.

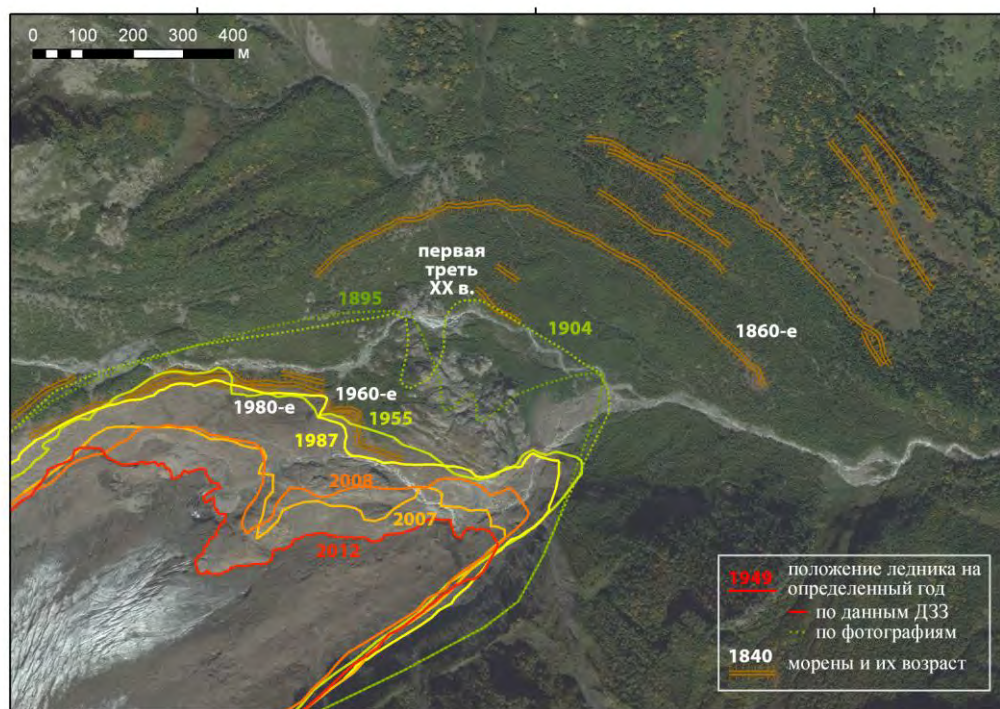


Рисунок 5. Динамика ледника Алибек по картографическим, историческим и биоиндикационным данным

Ледник Безенги

С конца 1880-х гг. по 2011 г. ледник Безенги отступил более чем на 1,7 км, а с начала-середины XIX в. – на 2,5 км. На предпольях ледника Безенги выделяются морены 1980-х гг., три морены первой половины XX в., в том числе морена 1946-1949 гг., и морена 1885-1887 гг. (рисунок 6). По описаниям Н.Я. Динника (Динник, 1890), две более ранние морены образовались за несколько десятилетий до его посещения ледника в 1881 г. Сопоставление размеров лишайников-индикаторов на предпольях ледника Безенги, определенных нами в 2009 г. и измеренных Н.А. Голодковской (Серебрянный и др., 1984) в 1975 г., показывает, что их годовой прирост в этот период согласуется с данными, полученными методом реперных поверхностей (0,25 мм/год), и составляет в среднем 0,3 мм/год.

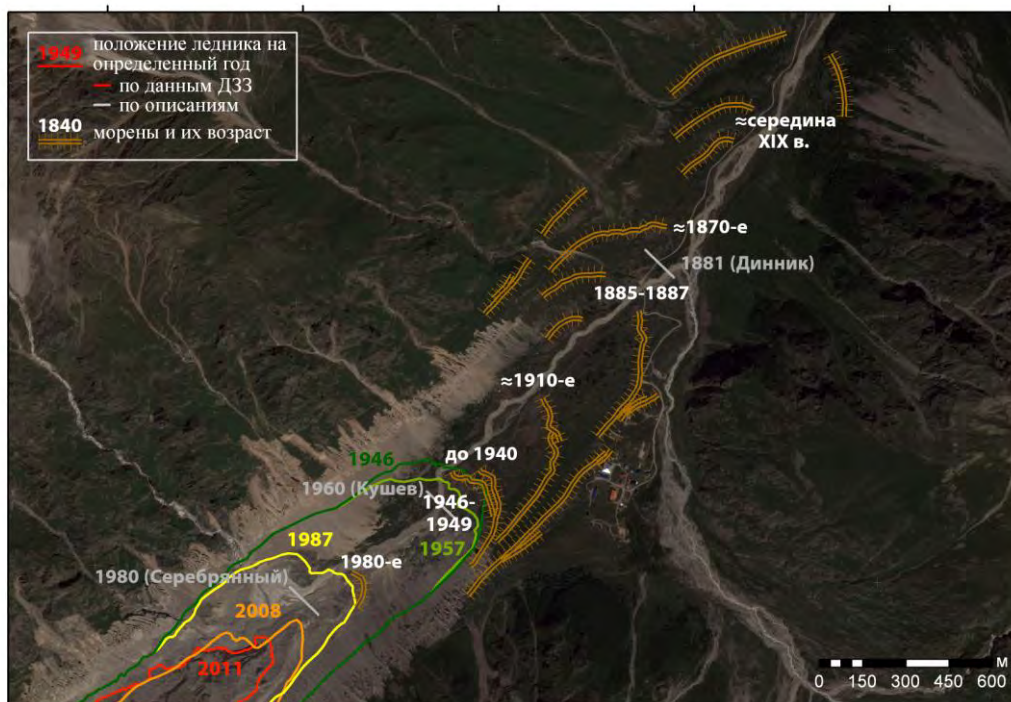


Рисунок 6. Динамика ледника Безенги по картографическим, историческим и биоиндикационным данным

Ледник Цзя

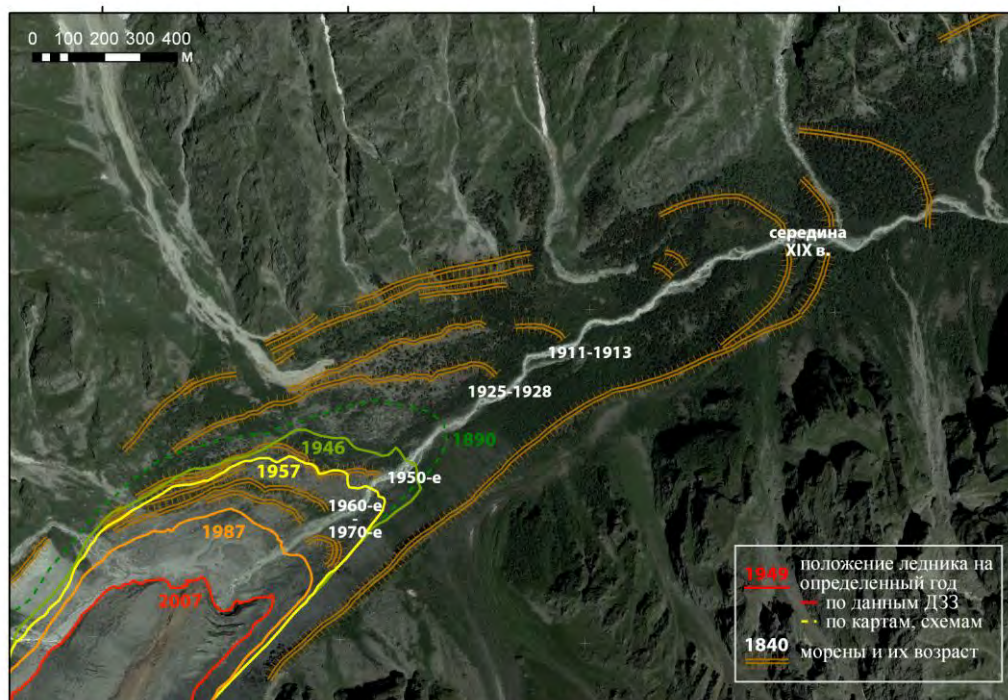


Рисунок 7. Динамика ледника Цзя по картографическим, историческим и биоиндикационным данным

В ходе этой работы нам удалось зафиксировать пространственное

положение конца ледника Цея на 1946, 1957, 1987 и 2007 и установить положение морен середины XIX в., начала 1910-х гг., конца 1920-х гг., 1950-х гг. и 1960-1970-х гг. (рисунок 7). Их возраст определен на основе картографических и биоиндикационных данных. Дендрохронологические данные и привязка карты корпуса военных топографов (1887 г.) выявили существенные неточности в отображении конца ледника в конце XIX в. на этой карте. С середины XIX в. ледник сократился в длину на 1,9 км, по площади – на 1,7 км², а высота конца ледника увеличилась на 250 м.

Ледник Мижирги

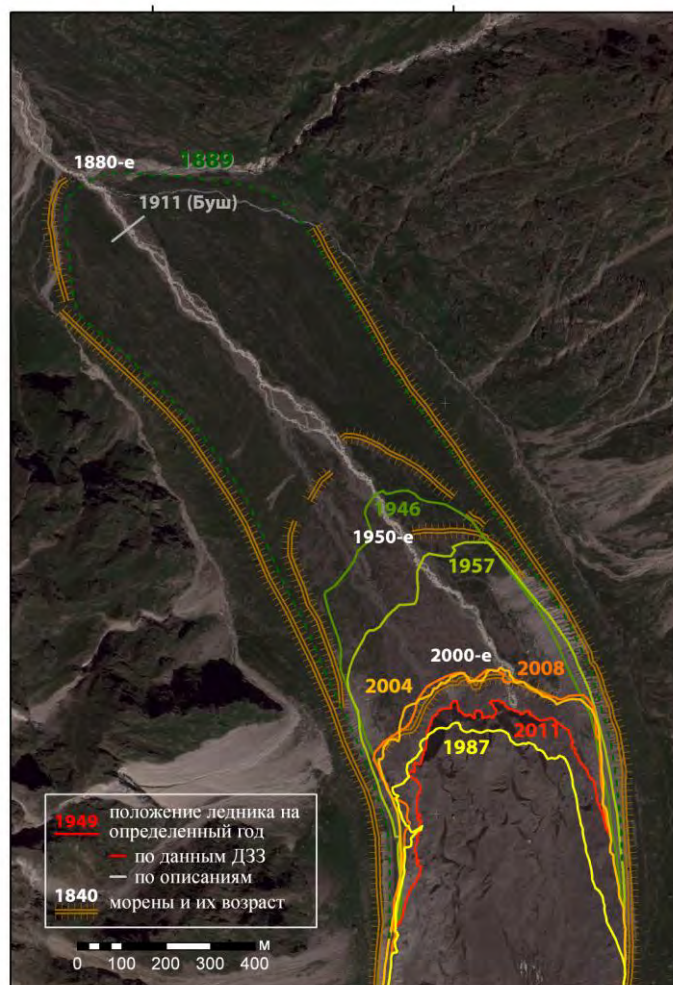


Рисунок 8. Динамика ледника Мижирги по картографическим, историческим и биоиндикационным данным

С 1880-х гг. по 2011 г. ледник Мижирги сократился на 1,5 км (рисунок 8). В отличие от большинства других ледников Центрального Кавказа, ледник Мижирги был стационарен в начале 2000-х гг. и отложил в это время конечную морену. Другой особенностью динамики этого ледника являются его меньшие

размеры в 1980-х гг., по сравнению с современным состоянием. Наиболее древняя морена, которая выделяется на предпольях ледника Мижирги, образовалась в начале 1880-х гг. Известно также положение морены 1950-х гг., а возраст расположенной между этими валами еще одной морены точно установить не удалось.

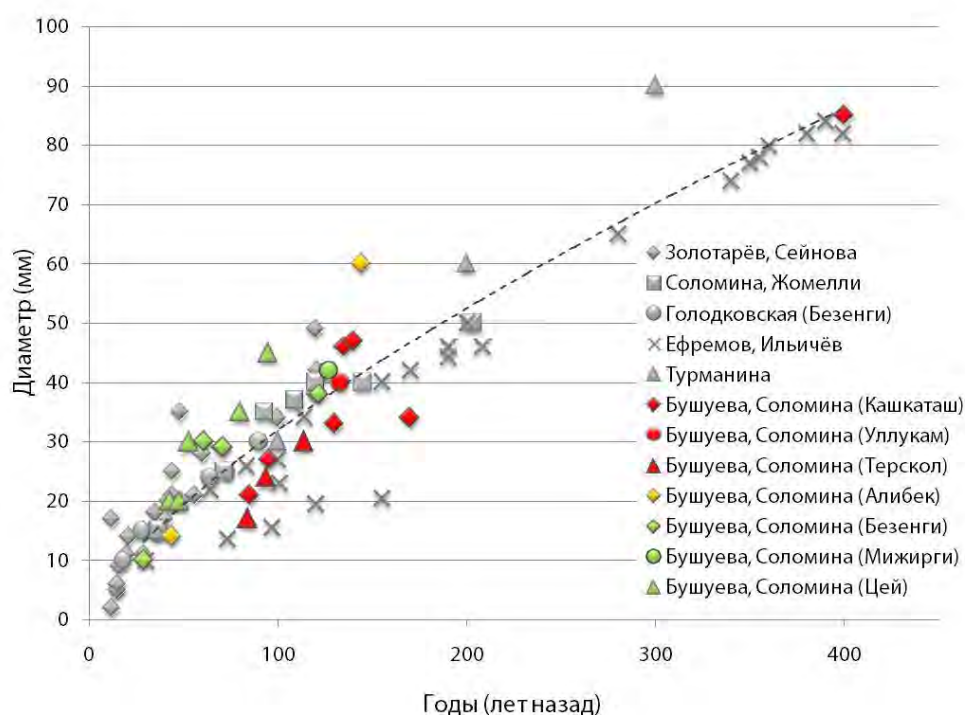
Глава 4. Общие закономерности колебаний ледников Кавказа за последние 200 лет. Сравнение с другими горными районами умеренных широт.

В этой главе обсуждаются границы точности и надежности датировок морен, а также отдельные спорные вопросы, связанные с историей колебаний ледников Северного Кавказа. Детальные реконструкции колебаний ледников в семи ключевых районах Северного Кавказа, представленные в главе 3, сравниваются с результатами наших предшественников (Турманина, 1971; 1979; Серебрянный и др., 1984; Природные процессы на территории Кабардино-Балкарии, 2004; Ефремов, Ильичев, 2007; Панов и др., 2008; Золотарев, 2009 и др.). Затем следует обобщенная реконструкция колебаний ледников Северного Кавказа, которая рассматривается в контексте истории оледенения в других горных странах умеренного климата.

Точность картографических оценок размеров ледников. Точность пространственной привязки космических снимков сверхвысокого разрешения составляет 1-5 м, аэрофотоснимков – 5-10 м, космических снимков CORONA - 15 м. Точность привязки старых карт не превышает первых десятков метров, однако в ряде случаев положение концов ледников на этих картах может быть указано с большой ошибкой. Оценить точность реконструированных на основе старых фотографий и описаний положений ледника можно только качественно. Более точные данные позволяет получить парная фотография, однако в этом случае необходимо учитывать параметры съемочных систем. В большинстве случаев максимальная ошибка в плане, при использовании повторной фотографии, составляет 15-50 м.

Сравнение использованных моделей расчетов объемов ледников показало, что при расчете эмпирической зависимости площадей и объемов ледников, предложенных С. Адхикари и С. Дж. Маршалла (Adhikari, Marshall, 2012) лучше применять глобальные коэффициенты. Объемы ледников, которые получаются при использовании формулы Мазо-Глазырина хорошо коррелируют со значениями, полученными при работе модели GlabTop.

Калибровочная кривая скорости роста лишайников. При создании реконструкций колебаний ледников Северного Кавказа датирование морен проводилось на основе исторических описаний, данных дистанционного зондирования Земли, картографических материалов, фотографий и дендрохронологии. Эти датировки можно использовать для уточнения кривой роста лишайников, поскольку на всех этих поверхностях проводилась лишенометрическая съемка. На рисунке 9 показан массив реперных точек, в котором учтены данные разных авторов и результаты нашего исследования. Линия тренда, построенная с учетом всех полученных новых точек, согласуется с уже имеющимися данными.



*Рисунок 9. Размер лишайников-индикаторов (*Rhizocarpon spp.*) на поверхностях известного возраста в высокогорьях Северного Кавказа. Серой пунктирной линией показана линия тренда (степенная), рассчитанная для всех полученных нами реперных точек.*

Оценки скорости роста лишайников, выполненные на основе методов повторного измерения размеров лишайников (0,30 мм/год) и реперных поверхностей известного возраста (0,25 мм/год), показали высокую сходимость результатов. Это свидетельствует о перспективности использования лишенометрического метода для датирования морен на Северном Кавказе. Однако, большой разброс точек (см. рисунок 9) указывает на возможную погрешность в определениях возраста, которая может достигать 50 лет.

Отсутствие надежных реперных поверхностей, возраст которых превышает 200 лет, пока составляет естественное ограничение применения этого метода на Кавказе.

Общие закономерности колебаний ледников северного макросклона Центрального и Западного Кавказа за последние 200 лет. В этой работе были реконструированы колебания семи ледников Северного и Центрального Кавказа: Кашкаташ, Уллукам, Терскол, Алибек, Безенги, Мижирги и Цея. На графике (рисунок 10) представлены кумулятивные кривые сокращения этих ледников.

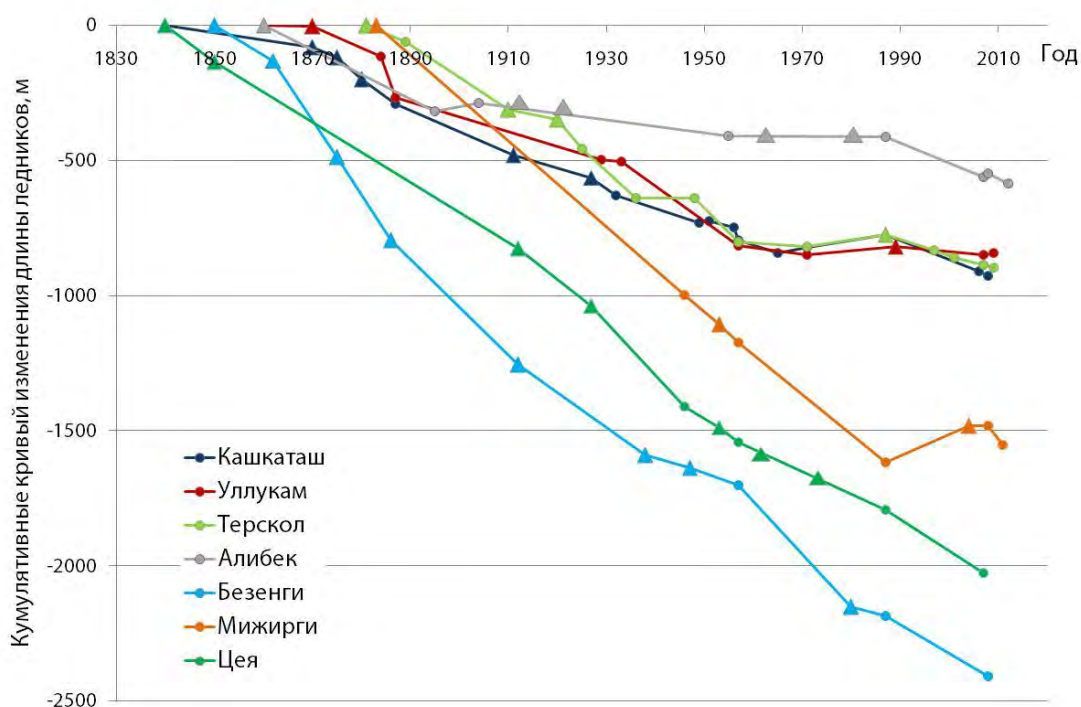


Рисунок 10. Кумулятивные кривые изменения длины ледников. Треугольниками на графике отмечены положения, которые датированы по моренам, точками – по данным дистанционного зондирования, квадратами – по данным карт, схемам или фотографиям.

Распределение кривых на графике имеет ряд закономерностей. Во-первых, очевидно, что все ледники в последние два столетия сокращаются. Задержки в ходе сокращения, если и имели место, то были незначительными. Наиболее сильно сократились крупные долинные ледники Цея, Безенги и Мижирги. Меньше сократились ледники средних размеров из Приэльбрусья. Наименьшее сокращение испытал ледник Алибек (Западный Кавказ). Возможно, не случайно, что ледники, сократившиеся в наибольшей степени, расположены в восточном секторе, а наименее деградировавший ледник Алибек – в западном. Не исключено, что это связано с особенностями климата и усилением его

континентальности с запада на восток, но для более определенного вывода необходимо расширить выборку данных.

Для первой половины XIX в. характерно образование нескольких морен у ледников Северного Кавказа. Они встречаются почти во всех исследованных долинах, но точно датировать эти морены ввиду отсутствия исторических описаний, картографических данных и плохо закрепленной лихенометрической кривой, сложно. Мы считаем достаточно надежной датировку морены в долине Кашкаташ (1840-е гг.), полученную нами по дендрохронологическим данным. Судя по описаниям Г.В. Абиха, в 1840-е гг. наступал и ледник Большой Азау. В 1849 г. он сформировал морену напора, прислоненную к морене XIV-XVII вв. (Природные процессы на территории Кабардино-Балкарии, 2004). Похожую картину мы наблюдали и в долине ледника Кашкаташ, где морена начала 1840-х гг. налегает на более древнюю морену, предположительно, XVII в. (данные дендрохронологии).

Для второй половины XIX века характерно образование трех-четырех морен. Н.А. Володичева (Природные процессы на территории Кабардино-Балкарии, 2004) выделяет 4 моренных вала в долине ледника Большой Азау, образовавшиеся во второй половине XIX в.: 1876, 1880-1881, 1884, и 1890 гг. Исследованные нами ледники показывают схожую динамику в 1870-е - 1890-е гг., особенно те, для которых удалось получить наиболее подробную информацию (например, Кашкаташ).

В начале XX в. у многих ледников отмечается два наступания - в 1910-х и 1920-х гг. Две морены, сформированные в этот период, идентифицированы на предполях ледников Кашкаташ, Терскол, Алибек и Цея. Морена 1910-х - 1920-х гг. сформировалась и у ледников Большой Азау (Природные процессы на территории Кабардино-Балкарии, 2004) и Джанкуат (в 1910-1925 гг.) (Золотарев, 1999).

Ледники Кавказа испытали небольшое увеличение в размерах в середине XX в. Морены конца 1950-х - начала 1960-х гг. образовались на предполях ледников Алибек, Мижирги и Цея. В долине ледника Безенги есть морены конца 1940-х гг. и чуть более ранней генерации.

В 1980-х гг. все исследованные нами ледники, кроме Мижирги, испытали наступание. Увеличение ледников хорошо идентифицируется по аэрофотоснимкам 1987 г. Это наступание у некоторых ледников (Кашкаташ, Уллукам, Алибек) достигало границ конца 1950-х гг.

Таким образом, рассматриваемые здесь ледники Северного Кавказа, которые удалены друг от друга на расстояние до 200 км, показывают схожую пространственно-временную динамику за последние два столетия. На наш взгляд, это дает основание считать, что изменения ледников имеют региональный характер, связанный с климатическими причинами.

Возможные климатические причины колебаний ледников Северного Кавказа. Наблюдения на высокогорных станциях Северного Кавказа охватывают примерно полстолетия, поэтому достоверно оценить причины сокращения размеров оледенения Северного Кавказа за два века на основе этих данных невозможно. По данным В.Д. Панова (1993), который рассматривал колебания климата на Северном Кавказе за период 1881-1990 гг., положительный тренд в ходе летних температур отмечался в 1921-1990 гг., причем наиболее значительным это потепление было в центральной части северного склона в 1931-1940 гг. Также он отмечал, что благоприятные погодные условия для наступания ледников складывались на Кавказе в период с 1891 по 1900 г. и с 1911 по 1920 г. Кривая изменения глобальной среднегодовой температуры поверхности Земли также показывает устойчивый тренд к повышению значений с конца XIX в. Потепление особенно заметно с 1970-х гг. (рисунок 11) (IPCC 5, 2013).

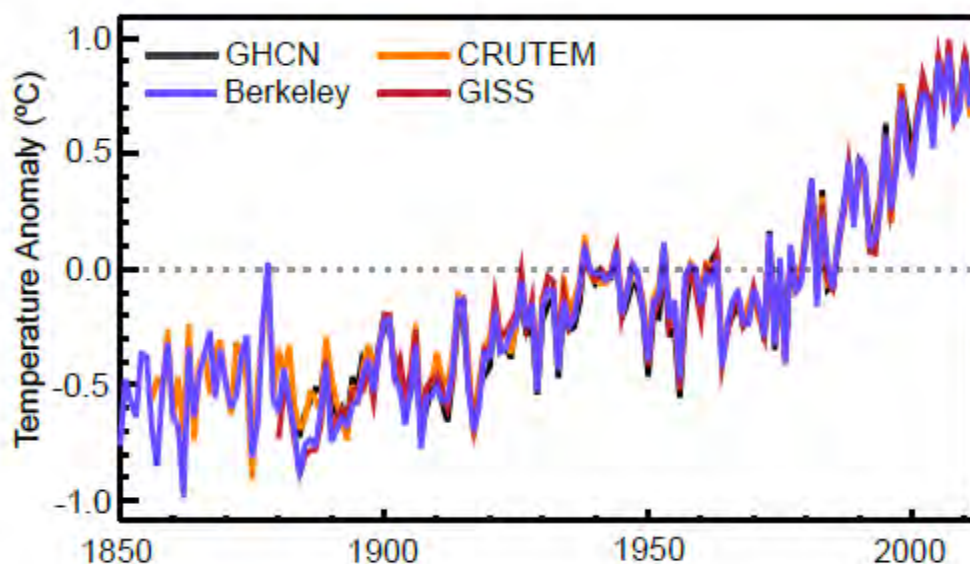


Рисунок 11. Аномалии глобальной среднегодовой температуры воздуха у поверхности земли по отношению к 1961-1990 гг. (по данным баз данных Berkeley, CRUTEM, GHCN и GISS) (AR5, 2013).

Реконструкция баланса массы ледника Гарабаши с 1800 по 2005 г., выполненная по дендрохронологическим данным (Долгова, 2011), показывает, что у ледника Гарабаши был положительный баланс массы в 1810-х - начале 1820-х гг., 1830-х - 1840-х гг., 1860-х - 1870-х гг., в начале 1900-х гг., в 1910-х гг., в конце 1920-х гг., затем в 1950-х гг. и в 1970-х гг. В наших реконструкциях этим периодам соответствует образование нескольких стадияльных морен, т.о. эти две независимые реконструкции баланса массы ледников и изменения их размеров достаточно хорошо коррелируют между собой.

На сводной диаграмме (рисунок 12), приведено сравнение периодов наступания или стационарного состояния ледников в разных районах мира. В большинстве регионов периоды активизации ледников относятся ко второй и четвертой четвертям XIX в., 1910-м - 1920-м гг. и 1960-м - 1980-м гг.

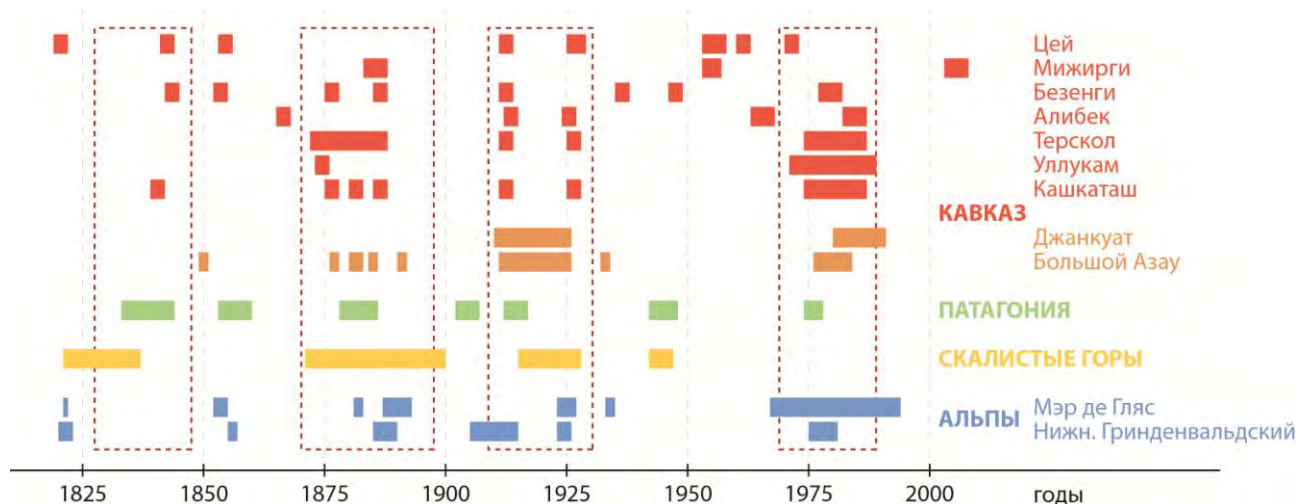


Рисунок 12. Периоды наступания или стационарного состояния ледников в разных горных системах. Красным пунктиром выделены периоды, когда многие ледники наступали или находились в стационарном состоянии.

Заключение.

Результатом работы являются семь детальных крупномасштабных пространственно-временных реконструкций ледников Западного и Центрального Кавказа: Кашкаташ, Уллукам, Терскол, Алибек, Безенги, Мижирги и Цея.

В ходе работы

1. Зафиксированы пространственные границы ледников на 9-21 временных срезов;

2. Рассчитаны плановые размеры ледников в прошлом и оценены изменения их объемов;

3. В научный оборот введено 202 дендрохронологические датировки, которые позволили существенно уточнить возраст 12 поверхностей, сформированных или освобожденных ледником. Комплексный подход, в частности, применение дендрохронологического метода, позволил пересмотреть исторические оценки возраста многих поверхностей;

4. По историческим, аэрокосмическим, картографическим и дендрохронологическим данным установлен возраст 24 новых реперных поверхностей, уточняющих кривую роста лишайников-индикаторов (*Rhizocarpon spp.*) в высокогорьях Северного Кавказа.

Для создания реконструкций использовались данные дистанционного зондирования Земли, картографические материалы, исторические описания, фотографии и данные полевых исследований. За последние два столетия отмечается сходство в динамике всех исследованных ледников Северного Кавказа. С момента последнего максимума их наступания в первой половине - середине XIX в., ледники отступают. Это отступление прерывались несколько раз, в частности, во второй половине XIX в., 1910-1920-гг. и в 1960-1980 гг. Внешняя морена ледника Кашкаташ, которая по пространственному положению практически совпадает с мореной 1840 гг., образовалась не позднее XVII в. Морены начала XIX в. в долинах Терскол и Алибек примыкают к поверхностям, минимальный возраст которых составляет три столетия.

Лихенометрические исследования на поверхностях, возраст которых был определен с помощью дистанционного зондирования, исторических описаний и по дендрохронологии, позволили ввести в научный оборот дополнительные реперные точки для оценки скорости роста лишайников в высокогорной зоне Северного Кавказа.

Сравнение полученных результатов с реконструкциями колебаний других ледников Кавказа, а также Альп, Канадских Кордильер и Патагонии, позволило сделать вывод о том, что колебания ледников во время «малого ледникового периода» в этих горных странах имели много общего, как в хронологии наступаний, так и в масштабах сокращения ледников в последние полтора столетия. Это косвенно свидетельствует о том, что на поведение ледников влияют глобальные факторы, среди которых могут быть солнечная активность, крупные извержения вулканов, увеличение концентрации парниковых газов (IPCC 5, 2013). В последние десятилетия практически все ледники земного

шара продолжают сокращаться. Также ведут себя и кавказские ледники. Таким образом, полученные нами данные о колебаниях ледников Западного и Центрального Кавказа согласуются с современными представлениями о глобальном изменении климата и оледенения.

Благодарности

Автор выражает благодарность научному руководителю О.Н. Соломиной, сотрудникам отдела гляциологии ИГ РАН, и другим людям, помогавшим в сборе и обработке материалов, отобранных в полевых экспедициях, и консультировавшим автора: В.Н. Михаленко, Г.А. Носенко, А.Ф. Глазовскому, В.В. Грязновой, Е.А. Долговой, И.И. Лаврентьеву, В.В. Мацковскому, С.С. Кутузову, А.А. Чепурной, М.Н. Иванову, И.О. Павловой, Т.М. Кудериной, А.В. Кудикову, Л.И. Лазуковой, О.Е. Максимовой, Э.П. Зазовской, В. Жомелли, Д. Брунштейну, а также Д.А. Петракову и А.Д. Олейникову за помощь в сборе исторических материалов и карт, А.А. Алейникову за предоставление космических снимков.

Список опубликованных работ по теме диссертации.

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК

Leclercq P. W., Oerlemans J., Basagic H.J., **Bushueva I.**, Cook A.J., Bris R. Le A data set of world-wide glacier length fluctuations // The Cryosphere, 2013. 24 pp.- Manuscript under review for TC.

Соломина О.Н., **Бушуева И.С.**, Кудерина Т.М., Мацковский В.В., Кудиков А.В. К голоценовой истории ледника Уллукам // Лед и снег, 1 (117), 2012. С.85-94.

Бушуева И.С., Соломина О.Н. Колебания ледника Кашкаташ за последние четыре столетия по картографическим, дендрохронологическим и лишенометрическим данным // Лед и снег, 2 (118), 2012. С.121-130.

Shahgedanova M., Nosenko G., **Bushueva I.**, Ivanov M. Changes in area and geodetic mass balance of small glaciers, Polar Urals, Russia, 1950-2008 // Journal of Glaciology, Volume 58, Number 211, September 2012, pp. 953-964(12).

Другие публикации

Bushueva I. Detailed reconstructions of fluctuations of seven glaciers during the “Little Ice Age” in the Northern Caucasus, Russian Federation (2013) // PAGES 2nd Young Scientists Meeting and 4th Open Science Meeting. Program and Abstracts.

Бушуева И.С. Детальные реконструкции семи ледников Кавказа (2012) // Тезисы докладов 4-ой молодежной научной школы-семинара «Природно-

антропогенные системы: мировой и региональный опыт исследований», Курск, Россия.

Bushueva I. Detailed reconstructions of fluctuations of seven glaciers during the “Little Ice Age” in the Northern Caucasus, Russian Federation (2012) // American Geophysical Union Fall Meeting 2012, San Francisco, USA. Abstracts.

Бушуева И.С. О характере колебаний ледников Кашкаташ и Уллукам (Центральный Кавказ) (2011) // Материалы II Молодёжной научной школы-конференции «Природные природно-антропогенные геосистемы: организация, изменения во времени», Курск, Россия, С.8.

Bushueva I. Reconstructions of mountain glaciers in last Holocene (example Kashkatash, Ullukam) (2011) // 25th International Cartographic Conference, Paris, France. Abstracts. 6 pp.

Bushueva I. Late Holocene fluctuations of Ullukam, Terskol and Kashkatash glaciers in the Central Caucasus (2011)// International Conference of Young Scientists "Land-Ocean-Atmosphere Interactions in the Changing World“, The Vistula Spit, Russia. Abstracts. P. 19-20.

Бушуева И.С. Методика создания реконструкций колебаний ледников (2010)// Тезисы докладов школы-семинара молодых ученых «Изменение климата и экосистем горных территорий», Кисловодск, Россия, 1 стр.

Бушуева И.С. Колебания ледников Уллукам, Кашкаташ и Безенги в позднем голоцене (2010)// Тезисы докладов международного гляциологического симпозиума, Казань, Россия, 1 стр.

Bushueva I.S., Solomina O.N. Research Of Fluctuation Of Glacier Kashkatash (2010)// International Conference AGILE, Guimarães, Portugal. Abstracts. 2 pp.

Бушуева И.С. Проблемы реконструкции колебаний горных ледников по картографическим данным и повторной съемке (2010)// Материалы ежегодной Международной научно-практической конференции «География: проблемы науки и образования LXIII Герценовские чтения», Санкт-Петербург, Россия. С. 238-240.

Satellite Monitoring and Regional Analysis of Glacier Dynamics (SMARAGD) (2010) edited by I.Sharov // Reproteam Digital- und Großformatdruck. 100 p.

Бушуева И.С. Колебания ледника Кашкаташ (2009)// Материалы третьей международной научной конференции молодых ученых и талантливых студентов «Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность», Москва, Россия. С. 76-79.

Бушуева И.С. Methods of creating maps showing changes in glacier (2009)// 24th International Cartographic Conference, Santiago, Chile. Abstracts. 5 pp.

Бушуева И.С., Соломина О.Н. Колебания ледника Кашкаташ за последние четыре века по картографическим материалам, повторной фотографии и биоиндикационным методам (2009)// Материалы международной конференции «Гляциология в XXI века», Москва, Россия. С. 64-72.