

Полвека на Эльбрусе. Технологии картографо-аэрокосмического мониторинга оледенения вчера, сегодня и завтра

Ю.Ф. Книжников, В.И. Кравцова, Н.А. Володичева, Е.А. Золотарёв, И.А. Лабутина, А.Д. Олейников, Е.Г. Харьковец

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Рассмотрено совершенствование технологий картографо-фотограмметрического изучения динамики ледников за полувековой период, даны главные результаты исследования изменений оледенения Эльбруса с середины XIX в.

Оледенение Эльбруса — уникальный объект, мониторинг которого проводится более столетия, в последние 50 лет — на Эльбрусской учебно-научной станции географического факультета МГУ, основанной в период МГГ (1957—1959 гг.) по инициативе Г.К. Тушинского, умело и успешно реализованной М.Я. Пламом.

Этапы мониторинга оледенения Эльбруса

Первая инструментальная (мензульная) съёмка оледенения Эльбруса была выполнена отрядом Корпуса военных топографов под руководством А.В. Пастухова в 1887—1890 гг. и по её результатам была составлена топографическая карта масштаба 1:42 000 [16], ставшая основой исследований его изменений с конца XIX в. В период МГГ географическим факультетом МГУ под руководством Г.К. Тушинского были проведены комплексные исследования оледенения Эльбруса, результаты которых опубликованы в серии информационных сборников и завершающей монографии «Оледенение Эльбруса» [14].

Лабораторией аэрокосмических методов (тогда аэрометодов) кафедры картографии в 1957—1959 гг. по инициативе Г.К. Тушинского и И.Р. Зайтова выполнена фототеодолитная съёмка Эльбруса, для чего была организована Эльбрусская экспедиция под руководством А.В. Брюханова. Хотя в то время обычно ограничивались съёмкой концов ледников, по настоятельной просьбе Ф.В. Никулина съёмка охватила всё оледенение. Эти работы продолжались три года с участием А.В. Брюханова, Ф.В. Никулина, Ю.Ф. Книжникова, И.А. Лабутиной, и они же выполнили стереофотограмметрическую обработку материалов. В результате была создана 14-листная карта оледенения Эльбруса в масштабе 1:10 000 (редактор И.А. Лабутина) [13], которая стала точкой отсчёта для дальнейшего мониторинга.

Другое важное направление работ на Эльбрусе — картографо-географическое. Результаты комплексных гляциологических исследований в концентрированном виде были представлены в Атласе оледенения Эльбруса, включавшем три части: фотоснимки ледников, общегеографические и тематические карты. К сожалению, том более чем со ста тематическими картами не был издан, но он рассма-

тривается как картографический предвестник Атласа снежно-ледовых ресурсов мира.

После окончания МГГ в исследованиях перво-степенное внимание уделялось стихийно-разрушительным склоновым процессам. Собственно гляциологические работы проводились по программе Международного гидрологического десятилетия. Были получены данные по массоэнергообмену оледенения, которые стали основой прогноза изменений ледников Приэльбрусья. Периодически выполнялись повторные фототеодолитные съёмки ледников. С 1967 г. А.П. Мартышев регулярно проводил съёмки концов ледников Большой Азау, Терскол и Ирик. В 1973 г. Ф.В. Никулин выполнил повторную съёмку оледенения северного склона Эльбруса. Ледники западного и северного склонов были сняты в 1980 г. с вертолётки С.Я. Кирпиченковым.

Спустя 25 лет со времени МГГ было принято решение провести повторную фототеодолитную съёмку оледенения Эльбруса, для чего в 1980 г. проводились предварительные работы [11]. Материалы вертолётной съёмки ледников 1980 г., аэровизуальных наблюдений с вертолётки, выполненных в 1980 и 1982 гг., сравнение базовой карты с космическими снимками 1976 г. и аэрофотоснимками 1979 г. [1] позволили выявить степень, характер и участки наибольших изменений оледенения. В 1986—1988 гг. проведены повторные фототеодолитные съёмки всего оледенения Эльбруса [3]. Тогда полная трудоёмкая стереофотограмметрическая обработка материалов съёмки всего оледенения была признана нецелесообразной. Тем не менее, материалы изучения динамики десяти ледников были повторены в 1970—80-е годы, когда некоторые ледники (Большой Азау, Кюкюртлю, Уллучиран, Уллумалиендерку) испытали подвижки, и позднее в систематизированном виде были представлены в Атласе снежно-ледовых ресурсов мира.

Развитие цифровых геоинформационных технологий сместило акценты и изменило методические подходы. В современных условиях сделана ставка на использование разновременных цифровых моделей, а не разновременных карт, как это было принято ранее. В 1979 и 1997 гг. удалось провести аэрофотосъёмку Эльбруса. По материалам аэрофотосъёмки

1997 г. построена детальная цифровая модель Эльбруса с размером ячейки 10 м и создана ортофотокарта, что дало уникальную возможность изучить тенденции изменения оледенения по всей его площади более чем за столетний период. При этом изменение высоты поверхности — основной параметр для определения объёма стаявшего льда — удалось получить с точностью 1—2 м (по отношению к величине её изменения это составляет около 15—20 %), т.е. проблема достоверности результатов остаётся весьма острой.

Новые цифровые технологии фотограмметрической обработки материалов съёмок

До конца XX столетия для фиксации пространственного состояния горного ледника, как правило, использовали фототеодолитные съёмки, материалы которых обрабатывались на стереоавтографе. Результатом обработки становились детальные крупномасштабные карты, служившие основой для картометрических определений и тематических карт. Именно такой была карта Эльбрусской ледниковой системы в масштабе 1:10 000.

Для современного этапа картографического изучения ледников характерна цифровая фотограмметрическая обработка наземных, аэро- и космических снимков. С ним связано появление «цифровых снимков», которые для нужд горной гляциологии пока получают в основном путём сканирования и цифровой записи материалов фотографической аэро- или фототеодолитной съёмки. Мы в таких целях используем фотограмметрический сканер Deltascan-4, имеющий разрешение 8 мкм.

Обработку стереопар цифровых снимков выполняют с помощью цифровых фотограмметрических приборов — программных комплексов на базе персональных компьютеров. Одновременно с созданием в системе картографического производства таких программных пакетов, как PHOTOMOD, в лаборатории аэрокосмических методов был разработан набор программ, которые по существу составили цифровой фотограмметрический программный комплекс [6]. Обработка снимков с его помощью позволила достичь точности определения координат порядка 1,5 м в плане и по высоте, достаточной для создания карты в масштабе 1:10 000.

Карта включает ортофотоизображение с разрешением 1 м на местности, изображение рельефа горизонталями с сечением 10 м и отдешифрованные границы ледников. Для построения цифровой модели рельефа использованы автоматизированные методы стереоизмерений, на основе которых получено 96 % точек, а общее их число составляет около 1 млн. Границы оледенения установлены с помощью методов дешифрирования высокогорных ландшафтов, разработанных в Лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики МГУ во время составления карты оледенения Эльбруса. Дополнительно в границы оледенения включены и не показанные на карте, считавшиеся в 1950-х

годах мёртвыми льдами, участки погребённых льдов под сплошным моренным чехлом на ледниках Большой Азау и Уллучиран.

Новые технологии совмещения разновременных материалов съёмок

Определение изменений оледенения с середины XIX в.

Особое значение при мониторинге оледенения имеет определение изменения высоты поверхности ледника, на основе чего выявляют вариации объёма. Ранее для этого использовали картометрические способы и разновременные картографические материалы.

Обращение к старым картографическим материалам на современном этапе требует новых подходов. Созданная в период МГГ 14-листная карта оледенения Эльбруса с сечением рельефа 10 м, помимо информации об оледенении на 1957 г., содержит данные о его распространении в прошлом. При её составлении особое внимание уделялось точному отображению гребней отложенных морен. На этой карте специальным условным знаком показаны практически все гребни стадияльных морен. Материалы лихенометрической съёмки последних, проведённой в 1980-х годах, позволили датировать эти морены и установить границы распространения оледенения Эльбруса в конце XVII и середине XIX вв. [17]. Объёмы ледников во время их максимального распространения определены по высотным отметкам на гребнях морен. Такие ретроспективные карты были составлены для каждого ледника от его конца до верхнего уровня стадияльных морен. Затем они были оцифрованы вместе с соответствующими участками карты оледенения Эльбруса 1957 г., и на основе этой информации сформированы разновременные цифровые модели рельефа каждого ледника.

Определение изменений оледенения с 1887 г. Оказалось, что существует принципиальная возможность картометрических измерений по карте 1887 г. Однако потребовалась специальная подготовка исходных материалов. Перед измерениями она была переведена из масштаба 1:42 000 в масштаб 1:25 000 в современной системе координат и в метрической системе высот, и затем оцифрована, как и карта 1957 г. По этим картам созданы цифровые модели, которые позволили определить изменения площади и объёма оледенения. По карте 1887 г. надёжные измерения возможны только для языков ледников, а выше горизонтали 4000 м величины изменения высоты поверхности могут быть сопоставимы с ошибками их получения [3]. Однако, как показала работа с материалами аэрофотосъёмки, 98 % изменений объёма приходятся именно на площади ниже 4000 м, поэтому карта 1887 г. и признана пригодной для исследований эволюции оледенения Эльбруса. Результаты измерений по этим картам опубликованы в [3, 6].

Определение изменений оледенения после МГГ; цифровые технологии работы с разновременными аэрофотоснимками. Стремление повысить точность определения изменений оледенения путём использования

непосредственных материалов повторных съёмок без предварительного трудоёмкого создания по ним карт вызвало необходимость обратиться к непосредственному совмещению этих материалов на универсальных приборах. При таком способе стереопары повторной съёмки ориентировались по картам, составленным на основе более ранних съёмок. Измерения проводились при наведении визирного устройства координатографа на горизонталь карты или узел регулярной сетки и одновременном наведении марки стереоавтографа на поверхность стереомодели. Наведение на горизонталь исключает необходимость интерполяции рельефа по карте. Измерения в узлах регулярной сетки, напротив, предусматривают такую интерполяцию, но они предпочтительнее при восстановлении непрерывной поверхности изменения её высоты. Обе разновидности этого способа позволяют определять изменения точнее, чем картометрические методы. Такая работа была выполнена для определения изменений всей площади оледенения за 1957—1987 гг. [3].

Значительная трудоёмкость способа и его ограничения, связанные с техническими возможностями совмещения повторных снимков и карт, стали стимулом для перехода к аналитическим способам обработки снимков. Однако попытки определить изменения высот путём сравнения разновременных цифровых моделей рельефа по точкам регулярной сетки или структурным линиям показали, что при независимом измерении стереопар не удаётся значительно повысить точность определений. Выход был найден в согласованном измерении стереопар — в одних и тех же точках с предварительно заданными плановыми координатами [4]. В этом случае изменение высоты в точке получают непосредственно, без промежуточных интерполяций, с существенно более высокой точностью. При необходимости расположение точек может соответствовать узлам регулярной сетки в плановой системе координат. Реализация этого способа стала возможной после появления стереокомпараторов, передающих измеряемые координаты снимков непосредственно в вычислительную систему. Это позволяет при известных элементах внешнего ориентирования снимков взаимно пересчитывать координаты снимков и местности непосредственно во время наведения стереоскопической марки на поверхность ледника. Таким образом корректируются координаты марки и достигается её положение на поверхности ледника в точке с необходимыми плановыми координатами.

Составление цифровых карт эволюции оледенения Эльбруса после МГГ и оценка их точности

Исследование эволюции оледенения Эльбруса после МГГ базируется на трёх фиксированных датах: 1957, 1979 и 1997 гг., которые образуют два почти равных интервала времени: 22 года и 18 лет. Временной срез 1957 г., как уже упоминалось, зафиксирован картой оледенения Эльбруса, которая была переведе-

на в цифровую форму (оцифрована по горизонталям с сечением 10 м). Это позволило получить детальную картину изменения высоты поверхности и избежать ошибок в цифровых моделях, связанных с интерполяцией разреженных точек. Материалы аэрофотосъёмок 1979 и 1997 гг. обработаны с помощью цифровых технологий. В результате на каждую из этих дат были составлены цифровые модели всего оледенения в единой системе координат и с опорой на одни и те же пункты съёмочного обоснования. Их сопоставление дало возможность измерить изменение границ и высоты поверхности оледенения для каждого интервала времени со средней квадратической ошибкой определения изменения высоты поверхности 0,22 м и относительной ошибкой 2,6 % и относительной ошибкой определения объёма льда 1,8 %.

Составленные карты наглядно показывают реакцию оледенения даже на кратковременные изменения климата. В 1957—1979 гг., несмотря на общее сокращение площади почти всех ледников, преобладает повышение их поверхности (до 40 м на леднике Уллучиран). Это привело к слабopоложительному балансу массы всего оледенения, составившему 0,94 м в.э., очевидно, в результате общего снижения температуры воздуха в Северном полушарии в 1960-е годы. В это время многие ледники Эльбруса наступали. За второй период наблюдений (1979—1997 гг.) произошло почти повсеместное снижение высоты их поверхности, наибольшее на ледяном поле Джикиуганкез (в среднем на 16,8 м, на языках ледников до 40 м).

В целом за 40 лет после МГГ (с 1957 по 1997 г.) объём оледенения Эльбруса уменьшился на 1,2 км³, что составляет около 1 км³ воды, причём 98 % этого

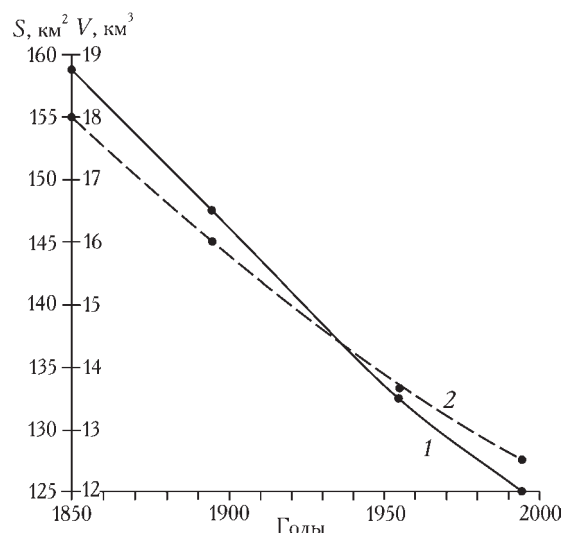


Рисунок. Изменение площади и объёма оледенения Эльбруса за 1850—1997 гг.

1 — площадь S , км²; 2 — объём V , км³

Figure. Changes of the area and volume of Elbrus glaciation for 1850—1997

1 — area S , км²; 2 — volume V , км³

Среднегодовое уменьшение площади, высоты поверхности и объёма оледенения Эльбруса в разные периоды

Характеристика	Период, годы		
	1850—1887	1887—1957	1957—1997
Площадь, км ² /год	0,310	0,210	0,190
Высота поверхности, м/год	0,530	0,350	0,320
Объём, км ³ /год	0,058	0,035	0,027

объёма приходится на нижнюю его часть — от окончаний языков до высоты 4000 м. Это даёт возможность проследить за темпами сокращения оледенения начиная с середины XIX в. Наибольшие значения приходятся на первый период (1850—1887 гг.). Начиная с 1887 г. сокращение площади происходило практически равномерно, а объёма — даже замедлилось (таблица, рисунок). Отсюда можно сделать вывод, что глобальное потепление климата, которое сменяется кратковременными периодами похолоданий, началось ещё в середине XIX в. после окончания малого ледникового периода и имеет скорее естественные причины, чем антропогенные [6].

Модификация способа псевдопараллакс для определения скоростей движения льда

Делая основной акцент на мониторинге пространственного состояния оледенения Эльбруса, нельзя не упомянуть и о других, не менее важных аспектах его изучения, также претерпевших преобразование за прошедшие полвека. С помощью способа псевдопараллакс, впервые применённого в российских исследованиях Г.А. Авсюком вслед за Р. Финстервальдером и модифицированного Ю.Ф. Книжниковым [7], впервые была составлена карта скоростей движения льда при характеристике всего поля скоростей, отображаемого в изолиниях — изотахах. Таким образом на основе специально поставленных фототеодолитных съёмок определены скорости движения ледников Ирик, Кюкюртлю, Уллучиран и др., а также внутренних потоков на Эльбрусе.

Этот метод, созданный для наземных фототеодолитных съёмок, был адаптирован и для материалов аэрофотосъёмки. Впервые такой вариант был применён для ледника Кюкюртлю. По предложению Ю.Ф. Книжникова, аэрофотосъёмка с вертолёт с годовым интервалом выполнялась по прямолинейному маршруту вдоль оси ледника с максимально возможным перекрытием снимков [10]. При выполнении повторной съёмки по тому же азимуту, с той же высоты и со столь же большим продольным перекрытием снимков имеется возможность составить стереопары из разновременных снимков, позволяющие вести наблюдения за поверхностью стереомодели смещения с малыми искажениями влиянием рельефа местности.

Разработаны два варианта обработки — традиционная аналитическая и при измерении разновре-

менных ортофотоснимков, получаемых с помощью компьютера [5]. Метод получил дальнейшее развитие в совместных работах МГУ и Института географии РАН на леднике Медвежем, где был проведён специальный эксперимент по определению скорости движения льда на всём протяжении языка, включая подледопадную зону, ледопад и область питания [2, 9]. Оказалось, что такие исследования динамики ледника во время подвижки возможны только с помощью короткопериодических повторных аэрофотосъёмок с интервалом от нескольких часов до нескольких суток.

Новый толчок развитию способа псевдопараллакс дал появление космических снимков, когда стало возможным исследовать крупные пульсирующие сложно-долинные и дендритовые ледники в высокогорных районах. Разработан метод выявления пульсирующих ледников на основе способа псевдопараллакс [8], разработанный далее Г.Б. Осиповой и Д.Г. Цветковым и получивший развитие в работах Института географии РАН на Памире [15]. Эти исследования показали эффективность применения метода псевдопараллакс при работе с материалами космической съёмки.

Подводя итоги 50-летних картографо-аэрокосмических исследований на Эльбрусе, нельзя не вспомнить ещё раз о создании по результатам исследований МГГ Атласа ледников Эльбруса, который включал многоаспектные тематические карты — гляциогеоморфологические, структурно-тектонические, потоков льда и ледоразделов, гляциоклиматические, сезонной динамики снежного покрова, альbedo поверхности, абляции, скоростей движения льда, динамики ледников, древнего оледенения, снежных лавин, гидрологические и др. [12].

Новое поколение исследователей и перспективные технологии

В последние годы начинают использовать космические снимки сверхвысокого разрешения, которые получают со спутников Ikonos, QuickBird, EROS, OrbView, WorldView, ALOS, Cartosat, TerraSAR-X. В 2007 г. исследователи Эльбруса получили великолепные стереоснимки со спутника Cartosat, первые результаты работы с которыми были представлены на симпозиуме в Иркутске. Безусловно, 10-летний интервал съёмки (с 1997 г.) и 2,5-метровое разрешение

стереоснимков откроют новый этап изучения изменений оледенения Эльбруса. Для получения количественных характеристик — изменений высоты поверхности, объёмов льда — потребуется определённая модификация технологий, но мы надеемся, что результаты будут получены достаточно быстро.

На географическом факультете МГУ сейчас начало работать четвёртое поколение молодых исследователей, которые занимаются ледниками и мониторингом опасных явлений в высокогорье. В центре внимания молодых исследователей — ледниковые озёра как источник селевой опасности — проблема, обострившаяся в связи с глобальным потеплением климата. В этих работах делаются попытки комбинировать космические снимки с наземной стереосъёмкой: планиметрическую информацию получать с космического снимка, а высотную — по наземным стереоснимкам, сделанным «цифровым фототеодолитом» — хорошей цифровой камерой, установленной на теодолите. Это отличительная черта нового этапа исследований.

Обращаясь к перспективам развития метода, укажем, что сейчас дистанционное зондирование располагает тремя способами получения трёхмерной информации — стереофотограмметрическим, радар-интерферометрическим, лазерно-локационным. Два первых метода хорошо известны и оценены в гляциологии. Лазерная альтиметрия также используется на работающем сейчас гляциологическом спутнике ICESat, с которого получают информацию по профилям для покровных ледников. Для горных ледников начинают использовать лазерно-локационный метод (предусматривающий получение сплошного поля высотных точек). В отличие от стереофотограмметрического метода, при лазерно-локационной съёмке (лазерном сканировании) ледник характеризуется не изображением, а облаком точек с высокой точностью определения трёх координат каждой из них. На выходе такой лазерно-локационной съёмки ледника получают его цифровую модель с дециметровой точностью. Для альпийских ледников уже начали применять воздушную лазерно-локационную съёмку в сочетании с цифровой аэросъёмкой и спутниковым позиционированием.

Заключение

Подводя итог полувековых исследований университетских географов на Эльбрусе, ещё раз обозначим основные этапы развития картографо-аэро-космических технологий: 1) создание общегеографических (топографических) карт на основе мензульной съёмки (это технология конца XIX—начала XX вв., когда карта выступает как средство общего познания); 2) создание специальной карты оледенения на основе фототеодолитной съёмки, когда карта используется как средство измерения, а материалы аэрофотосъёмки служат для комплексного познания и тематического картографирования оледенения (такая технология характерна для середины XX в.); 3) создание

цифровой модели оледенения на основе аэрофотосъёмки с точным определением по разновременным цифровым моделям изменений площади оледенения, высоты поверхности ледников, объёма льда (это технологии сегодняшнего дня — начала XXI в.); 4) в будущем планируется создание разновременных сезонных ортофотопланов по результатам ежесезонной космической съёмки дециметрового разрешения, а с интервалом 3—5 лет — построение цифровых моделей для регулярных количественных определений изменений ледников и баланса их массы.

Доминантный метод съёмки на каждом этапе не исключает применения других методов. Так, при фототеодолитной съёмке ледника Карабаткак на Тянь-Шане Г.А. Авсюк для области питания ледника, где невозможны фототеодолитные съёмки, применял мензульную съёмку, характерную для предыдущего технологического этапа, а на Эльбрусе Ф.В. Никулин при фототеодолитной съёмке ледников предложил использовать аэрофотоснимки для картографирования области вершин. Таким образом, переходы между этапами постепенны.

Несинхронно меняются технологии съёмки и обработки съёмочных материалов. Сейчас цифровые методы обработки развиваются быстрее, чем совершенствуются методы съёмки. Поэтому в настоящее время цифровой обработке подвергаются материалы и фототеодолитной съёмки, и аэрофотосъёмки. Примечательная черта векового развития технологий — уменьшение доли полевых съёмочных работ. Длительные полевые съёмки заменяются оперативными космическими. Соответственно больший вес приобретает камеральная обработка съёмочных материалов. Это имеет и свои плюсы, облегчая полевые исследования и сокращая их время, и свои минусы, когда сокращаются или даже исключаются непосредственные наблюдения.

Подчеркнём, что при мониторинге ледников, изучении их изменений всегда остро стояла проблема точки отсчёта для сравнения. На рубеже XIX и XX вв., в период первого МПГ, устанавливали метки у концов ледников. В середине XX в. предпринимались инструментальные съёмки их концов. Вошедшее теперь в повседневную жизнь спутниковое позиционирование облегчает эту задачу.

И, наконец, ещё одно соображение по постановке мониторинга ледников. Эта задача не решается ни отдельными исполнителями, ни маленькими исследовательскими группами, она под силу лишь постоянно функционирующим организациям. Опыт Эльбрусской и Хибинской станций МГУ, Тянь-Шанской физико-географической станции показывает, что возникает множество проблем — хранения материалов, передачи опыта молодым исследователям, адаптации новых технологий к задачам мониторинга.

Работы выполнены при содействии Программ поддержки ведущих научных школ НШ-171.2008.5 и НШ-500.2008.5 и проектов РФФИ № 07-05-00187, 06-05-64006 и 07-05-00481.

ЛИТЕРАТУРА

1. Володичева Н.А., Евтеев О.А., Кирпиченков С.Я. и др. Изучение изменений оледенения Эльбруса за 25 лет. — МГИ, 1984, вып. 47, с. 130 — 138.
2. Гельман Р.Н., Книжников Ю.Ф. Определение смещения точек по разновременным аэрофотоснимкам. — Геодезия и картография, 1991, № 12, с. 17 — 20.
3. Золотарев Е.А. Изменения ледников Эльбруса в последнем столетии. — МГИ, 1997, вып. 83, с. 146 — 153.
4. Золотарев Е.А., Харьковец Е.Г. Применение методов автоматизированного картографирования и цифровой фотограмметрии для мониторинга ледника Джанкуат в Приэльбрусье. — Интеркарто 2: ГИС для изучения и картографирования окружающей среды. — Материалы междунар. конфер. (Иркутск, 26 — 29 июня 1996 г.), 1996.
5. Золотарев Е.А., Харьковец Е.Г. Стереоскопическое моделирование перемещения поверхности ледников по разновременным аэрофотоснимкам. — МГИ, 1998, вып. 84, с. 48 — 51.
6. Золотарев Е.А., Харьковец Е.Г. Оценка деградации оледенения Эльбруса методами цифрового картографирования. — Вестн. МГУ, Сер. 5, География, 2007, № 5, с. 45 — 51.
7. Книжников Ю.Ф. Исследование движения льда горных ледников стереофотограмметрическим методом. М., «Наука», 1973, 103 с.
8. Книжников Ю.Ф. Особенности стереоскопических изменений разновременных космических фотоснимков при изучении движения горных ледников. — Изв. ВУЗов, Геодезия и аэрофотосъемка, 1997, № 2 — 3, с. 102 — 111.
9. Книжников Ю.Ф., Гельман Р.Н. Особенности применения цифровых фотограмметрических систем для изучения движения горных ледников. — Геодезия и картография, 1998, № 3, с. 44 — 49.
10. Книжников Ю.Ф., Золотарев Е.А., Кравцова В.И., Харьковец Е.А. Дистанционный мониторинг горных ледников: изменения технологии за последние 50 лет (на примере Эльбруса). — МГИ, 2000, вып. 89, с. 58 — 64.
11. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Мартышев А.П., Мягков С.М. Об изменениях оледенения Эльбруса за 25 лет после МГГ. — Вестн. МГУ, Сер. 5, География, 1984, № 2, с. 38 — 43.
12. Кравцова В.И. Специальные карты в Атласе ледников Эльбруса. — МГИ, 1967, вып. 13, с. 129 — 135.
13. Лаппо (Лабутина) И.А. Карта оледенения Эльбруса. — Информ. сб. о работах геогр. ф-та МГУ по МГГ, № 7. М., 1961, с. 98 — 105.
14. Оледенение Эльбруса. М., Изд-во МГУ, 1968, 345 с.
15. Осипова Г.Б., Цветков Д.Г. Космический мониторинг оледенения Восточного Памира. — МГИ, 2000, вып. 89, с. 163 — 174.
16. Подозерский К.И. Ледники Кавказского хребта. Зап. Кавказского отдела РГО, 1911, т. 29, вып. 1, 200 с.
17. Сейнова И.Б., Золотарев Е.А. Ледники и сели Приэльбрусья (эволюция оледенения и селевой активности). М., «Научный мир», 2001, 203 с.

SUMMARY

The review of technologies improvement for glacier dynamic investigations by cartographic-photogrammetric methods is given and the main results of investigation of Elbrus glaciers changes after the middle of XIX century using topographic maps and aero photos for 1887, 1957, 1979, 1997 are presented. The main decreasing of glaciers took place at the end of XIX century; after 1930s, shortening of glaciers was even. Three generations of investigators changed during 50 years of work of Moscow University geographers at Elbrus. Great changes of technologies took place: from terrestrial phototheodolite survey to aerospace remote sensing, and the form of results presentation moderates from isoline maps to digital models of glaciation. The middle of XX century is characterized with accurate detail map compiling by phototheodolite pictures, the end of XX century — by creation of digital model and orthophotos of glaciation with aero survey. In the beginning of XXI century application of high resolution space images become usual. Technologies of surveying and enhancement are changing asymmetrically; digital methods of treatments develop more quickly than methods of surveying.