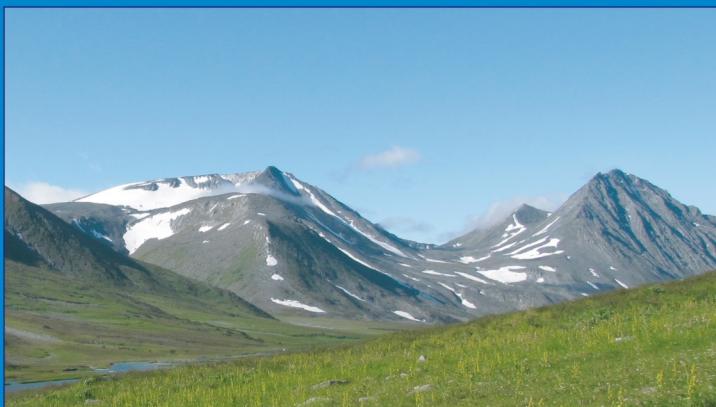


М.Н. Иванов

**ЭВОЛЮЦИЯ ОЛЕДЕНЕНИЯ**

**ПОЛЯРНОГО УРАЛА**

**В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ**



Москва 2013

**М.Н. Иванов**

**ЭВОЛЮЦИЯ  
ОЛЕДЕНЕНИЯ ПОЛЯРНОГО УРАЛА  
В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ**



**Lomonosov Moscow State University**  
**faculty of Geography**

**M.N. Ivanov**

**EVOLUTION OF GLACIATION OF THE POLAR URALS  
IN THE LATE HOLOCENE**

Moscow 2013



**Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова  
географический факультет**

**М.Н. Иванов**

**ЭВОЛЮЦИЯ ОЛЕДЕНЕНИЯ ПОЛЯРНОГО УРАЛА  
В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ**

Москва 2013

УДК 551.32, 551.324.6

ББК 26.222.8

*Рекомендовано к публикации  
Ученым советом географического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова*

Рецензенты: д.г.н. А.А. Лукашов, д.г.н. Е.С. Трошкина

**Иванов М. Н.**

**Эволюция оледенения Полярного Урала в позднем голоцене – М.:**

Географический факультет МГУ, 2013. 200 с.

В монографии систематизированы результаты исследований оледенения за весь период изучения. Автором собрана информация об эволюции оледенения Полярного Урала в позднем голоцене, проведены новые полевые наблюдения и измерения, собраны и проанализированы данные, полученные на основе лихенометрического, дендрохронологического, палеолимнологического, спорово-пыльцевого методов и радиоизотопного датирования (по  $^{14}\text{C}$  и  $^{10}\text{Be}$ ). Проведена инвентаризация ледников, определено современное состояние оледенения и дан прогноз будущих изменений.

Книга рассчитана на географов, гляциологов, геологов.

**Ivanov M.N.** Evolution of glaciation of the Polar Urals in the late Holocene – Moscow: Geographical faculty of MSU. 2013. 200 p.

The monography summarizes the results of investigations of glaciation during the all time. The author presents results of new field observations and measurements, information about the evolution of glaciation of the Polar Urals in the Late Holocene. Data based on lichenometry, dendrochronology, paleolimnology, palynology methods and radioisotope dating (at  $^{14}\text{C}$  and  $^{10}\text{Be}$ ) were collected and analyzed. Inventory of glaciers is completed, the current state of glaciers and the forecast of future changes are determined.

The book is designed for geographers, glaciologists, geologists.

ISBN 978-5-9905050-1-8

© М. Н. Иванов, 2013

*Науки и искусства - это то,  
что двигает людей вперед  
и дает им возможность  
бесконечного развития.  
Л.Н. Толстой*

## Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Географическое положение и ведущие факторы оледенения ....</b>	<b>11</b>
1.1. Рельеф .....	12
1.2. Климат .....	16
<b>2. Гляциологическая изученность Полярного Урала.....</b>	<b>26</b>
2.1. История изучения оледенения района.....	26
2.2. Анализ литературных данных .....	33
2.3. Сведения о ледниках Полярного Урала .....	38
<b>3. Методические основы исследования колебаний ледников .....</b>	<b>42</b>
3.1. Гляциологические наблюдения.....	43
3.2. Гляциогеоморфологические исследования.....	46
3.3. Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии.....	47
3.4. Лихенометрический и дендрохронологический методы .....	49
3.5. Повторные съемки и фотографирование ледников.....	52
<b>4. Изменения геометрических параметров ледников Полярного Урала.....</b>	<b>54</b>
4.1. Площадь и длина ледников.....	54
4.2. Высота поверхности и объем ледников.....	74
4.3. Границы ледников по данным лихенометрического датирования морен .....	82
4.4. Гляциогеоморфологические особенности ледников.....	88

<b>5. Баланс массы ледников Полярного Урала.....</b>	<b>113</b>
5.1. Измеренный баланс массы ледников ИГАН и Обручева в 1957–1981 гг. ....	113
5.2. Анализ имеющихся реконструкций баланса массы ледников	115
5.3. Материалы и методика реконструкций баланса массы ледников .....	123
5.4. Реконструкция баланса массы ледника ИГАН .....	128
<b>6. Эволюция оледенения Полярного Урала на фоне колебаний климата.....</b>	<b>136</b>
<b>Заключение .....</b>	<b>161</b>
<b>Приложения</b>	
Приложение 1.1. Среднемесячная температура воздуха, измеренная на м/ст Б.Хадата .....	166
Приложение 1.2. Среднемесячные осадки, измеренные на м/ст Б.Хадата .....	166
Приложение 2. Некоторые сведения о ледниках Полярного Урала.....	173
Приложение 3. Реконструированные значения $V_p$ ледника ИГАН .....	166
<b>Литература.....</b>	<b>175</b>

## Принятые сокращения

- АСЛРМ – Атлас снежно-ледовых ресурсов мира  
АФС – аэрофотоснимок  
ВМО – Всемирная метеорологическая организация  
в.э. (мм в.э) – миллиметры водного эквивалента  
ИГАН (ИГ РАН) – Институт географии Российской Академии Наук  
л.н. – лет назад  
МГИ – Материалы гляциологических исследований  
МГГ – Международный Геофизический год (1957–1959 гг.)  
МГД – Международное Гидрологическое десятилетие (1965–1974 гг.)  
МПП – Международный полярный год (1882–1883; 1932–1933, 2007–2009)  
МГУ – Московский государственный Университет имени М.В. Ломоносова  
МЛП – Малый ледниковый период  
м/ст – метеорологическая станция  
НСС – Наземная стереофотограмметрическая съемка  
ЯНАО – Ямало-Ненецкий автономный округ  
ASTER – Улучшенный космический радиометр теплового излучения и отражения (Advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer)  
Cartosat IRS P5 – Индийский радарный спутник (Indian Radar Sat)  
DGPS – Дифференциальный приемник системы глобального позиционирования  
ELA – Линия равновесия аккумуляции и абляции на леднике (Equilibrium line altitudes)  
ETM+ – Усовершенствованный тематический картограф (Enhanced thematic mapper +)  
FOG – Fluctuations of Glaciers – бюллетень UNESCO «Колебания ледников»  
GLIMS – Мониторинг ледников из космоса (Global land ice monitoring from space)  
IPCC – Межправительственная группа экспертов по изменению климата (Intergovernmental panel on climate change)  
NASA – Национальное управление по воздухоплаванию и исследованию космического пространства (National aeronautics and space administration)  
SPOT – Спутниковая система наблюдения Земли (Satellite pour l'observation de la Terre)  
UTM – Картографическая проекция Меркатора (Universal transverse Mercator)  
Bn – Годовой баланс массы ледника, состоящий из разности Bw и Bs  
Bw – Аккумуляция (зимний баланс)  
Bs – Абляция (летний баланс).

## Введение

Оледенение Земли как неотъемлемая часть криосферы в процессе эволюционных изменений оказывает существенное влияние на природные процессы и климатическую систему. Наиболее заметно изменения климата проявляются в приполярных областях (рис. 1), что вызывает повышенный интерес. Многочисленные международные конференции и научные журналы уделяют всё большее внимание исследованиям по проблеме изменений окружающей среды и климата в позднем голоцене, которые оказали большое влияние на развитие нашей цивилизации. Актуальность исследований эволюции оледенения связана с поиском ответа на вопрос – насколько современные изменения климата и ледников Земли уникальны для исторического времени, учитывая, что последние тысячелетия были наиболее холодным периодом после оптимума голоцена (Groove, 2004). Исследование эволюции оледенения остается важнейшей задачей гляциологии (IPCC, 2007; Доклад ВМО, 2009). Имеющиеся на ледниках прямые наблюдения ограничены первыми десятками лет. На основе данных, получаемых косвенными методами, можно продлить измеренные ряды и построить длиннорядные реконструкции баланса массы годовичного разрешения. На основе современных технологий и методов можно получить сведения о климате прошлого и построить прогнозы будущих изменений на основе палеоаналогов.

Полярный Урал является единственным в Российской Субарктике районом комплексного мониторинга наземного горного оледенения и в целом природной среды. Ледники Полярного Урала являются важными объектами наблюдений за эволюцией оледенения Северной полярной области и индикаторами региональных изменений климата и снежности. Они расположены ниже снеговой линии и быстро реагируют на изменения климата. Для Полярного Урала получено наибольшее количество информации об оледенении северных горных систем России. Однако информация, собранная после 1964 г., оставалась не систематизированной (Иванов, 2012г).

В 2007-2012 гг. автором проведены полевые исследования и получены новые сведения о состоянии и эволюции ледников, проведено обобщение результатов гляциологических исследований региона; выявление ведущих факторов, определяющих существование оледенения и его изменения; определение морфометрических параметров ледников на максимальное количество временных срезов и изменений высоты поверхности ледников; анализ морфологических, балансовых и режимных характеристик ледников; датирование морен опорных ледников на основе полевых гляциологических работ и лихенометрических измерений; реконструкция баланса массы ледников.

Работа выполнена при поддержке многих исследователей. Особо благодарю член-корр. РАН О.Н. Соломину, Н.А. Володичеву, Г.А. Носенко, А.Ф. Глазовского, Г.Б. Осипову, Л.П. Чернову, Ю.М. Кононова, В.Н. Михаленко, И.С. Бушуеву, В.В. Мацковского, А.Я. Муравьева, А.П. Волошину, Л.С. Троицкого, Л.Д. Долгушина, И.М. Лебедеву, П.А. Черноуса, Д.Ю. Большиянова, Д.А. Петракова, В.В. Поповнина, А.А. Алейникова, В.Г. Пастухова, С.Г. Шиятова, Р.М. Хантемирова, А. Матюшкова, Я. Мангеруда, Д.В. Окопного и всех, кто помогал в исследованиях и подготовке монографии.

## 1. Географическое положение и ведущие факторы оледенения

Уральские горы простираются субмеридианально от хребта Пай-Хой до р. Урал на юге почти на 2000 км. У Полярного круга Урал имеет ширину около 50 км, а на юге – 150 км (Тушинский, Давыдова, 1976). Урал подразделяют на Полярный, Приполярный, Северный, Средний, Южный. Наиболее высокая точка Урала: гора Народная – 1894 м, расположенная на Приполярном Урале.

Полярный Урал (рис. 2) расположен на крайнем северо-востоке Европейской территории России и от горы Колокольня на ЮЗ на до горы Константинов Камень СВ. На востоке район граничит с Западно-Сибирской равниной, а на западе с Восточно-Европейской равниной. Южная граница совпадает с границей Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов (ЯНАО). Административно территория относится к Республике Коми и ЯНАО.

По гляциологическому районированию Земли (АСЛРМ, 1997) Северо- и Полярноуральская область (АШб64) входит в Атлантико-Североевразийскую провинцию (АШб) зоны многолетней мерзлоты, устойчивого снежного покрова, сезонных морских льдов и горного оледенения (АШ), которая является составной частью пояса (А) постоянных нивальных явлений северного полушария (Котляков, 2004; АСЛРМ, 1997). По классификации Г.К. Тушинского (1963), Полярный Урал относится к Атлантико-субарктической Европейской горной области.

Урал является преградой на пути влагонесущих воздушных масс, поступающих с Атлантики, что вызывает увеличение количества осадков и увлажнения на восточных подветренных склонах, где залегают ледники.

Согласно С.В. Калеснику (1963) и работам М.В. Тронова (1966), ледник является, прежде всего, продуктом климата. С.В. Калесник приводит перечень основных физико-географических факторов оледенения: 1) общие черты климата и их изменения в пределах ледникового района (солнечная радиация, температура воздуха, атмосферные осадки, циркуляция атмосферы); 2)

абсолютные высоты горных хребтов; 3) взаимное расположение хребтов и долин, в силу которого возникают внутренние климатические различия в горной системе; 4) экспозиция горных склонов по отношению к солнцу и преобладающим ветрам; 5) расчленение склонов и формы рельефа, вмещающие оледенение. Значение имеет не сумма факторов, а их комплекс, т.е. их взаимное влияние и изменения этого влияния в зависимости от конкретной географической обстановки.

Основные представления о факторах оледенения Полярного Урала были сформированы Полярно–Уральской экспедицией ИГАН СССР, т.к. до начала МГГ сведения о районе были отрывочными и неполными (Оледенение Урала, 1966). Наш анализ показал, что оледенение существует благодаря тесному взаимодействию рельефа и климата.

## **1.1. Рельеф**

Урал формировался в эпоху герцинского орогенеза, в мезозое он подвергался интенсивным процессам денудации, сnivelировавшим высокогорную страну до состояния пенеплена. Этому способствовали также морские трансгрессии (верхнеюрская, верхнемеловая, палеогеновая), покрывавшие окраинные области уральского пенеплена, а местами, по-видимому, и водораздельную зону. В мезозое Урал испытывал неоднократные сводовые поднятия, завершавшиеся каждый раз пенепленизацией страны. В олигоцене – миоцене в пределах уральской пенепленизированной зоны начали появляться крупные сводовые и сводово-глыбовые поднятия, приведшие к формированию орографически выраженного горного хребта. Суммарные положительные движения за неоген-четвертичное время в северных районах Урала оцениваются в 700–1000 м (Оледенение Урала, 1966). По характеру рельефа и геологическому строению Л.С. Троицкий подразделял Полярный Урал на северную и южную резко различающиеся части (Оледенение Урала, 1966).

Северная часть Полярного Урала начинается от г.

Константинов Камень (492 м) узким (до 5–7 км) хребтом высотой 500–600 м, южнее на широте 68°20' резко расширяется и полосой шириной 60–70 км прослеживается до долины р. Сось. В районе кряжа Нгане-Пэ общая ширина хребта достигает 100 км. Абсолютные высоты хребтов северной части Полярного Урала не превышают 1000–1200 м и лишь отдельные вершины достигают высоты более 1300 м. Глубина расчленения северной части Полярного Урала исключительно велика (рис. 3). Днища долин и межгорных депрессий даже в центральной части хребта имеют часто те же абсолютные высоты, что и прилегающие к горам равнины. Сквозные перевальные долины в верховьях рек Соби, Б. Хадаты, М. Усы и М. Кары имеют высоты от 150 до 250 м над ур. моря (Оледенение Урала, 1966).

Поперечные и продольные долины рек и депрессии расчленяют поверхность гор на отдельные хребты и массивы, среди которых особенно выделяются в рельефе хребты Оче-Нырды, Б. и М. Пайпудынский, Ханмейский, массивы Енгане-Пэ, Борзова и др. В ряде случаев высокие хребты отделены один от другого обширными межгорными депрессиями до 3–4 км шириной (Пайпудынская, Нияюская) или широкими с плоскими днищами речными долинами (верховья рек Щучьей, Лонготъегана, Байдараты и др.). Многие речные долины, наоборот, сильно сужены, имеют каньонообразный профиль, а в верховьях принимают вид ущелий. При впадении в главную долину притоки образуют обширные конусы выносов, являющиеся нередко причиной возникновения в верховьях рек крупных подпруженных озер (Б. и М. Хадата-Юган-Лор, Усва-Ты, Б. Кузты и др.). Представлены тектонические озера Б. и М. Щучьи (Оледенение Урала, 1966). Характерной орографической чертой северной части Полярного Урала является асимметрия главного водораздела, который сильно смещен к западу.

Западный склон Полярного Урала более крутой, чем восточный; почти на всем протяжении он резко обрывается к предгорным депрессиям (Карская, Усинская), отделяющим от подножия гор гряды предгорных увалов (абс. в. 250–300 м). Восточный склон спускается постепенно, местами несколькими

ярусами к широкой полосе предгорных увалов (рис. 4), представляющих собой слабо приподнятые участки зауральского пенеплена, с отметками 300–350 м.

Западная половина хребта расчленена значительно сильнее восточной. Наряду с платообразными и округлыми вершинами здесь встречаются участки типичного альпийского рельефа с острыми гребнями, пиками и развитыми карами в которых нередко залегают современные ледники, снежники и глубокие озера (рис. 5). Альпийский рельеф особенно выражен в хребте Оче-Нырды и в районах озер Б. и М. Щучьих, Б. и М. Хадата. В восточной половине хребта кары и другие ледниковые формы рельефа отсутствуют, что придает резкий морфологический контраст западной и восточной частям.

Южная часть Полярного Урала (к югу от долины р. Сось) представляет собой сильно суженный (до 25–30 км) водораздельный хребет, простирающийся в юго-западном направлении более чем на 200 км (до горы Колокольня). Северную часть хребта составляет массив Рай-Из (рис. 6), южнее – массивы Пай-Ер и Войкар-Сыньинский. Абсолютные высоты хребта достигают 1100–1200 м, гора Пай-Ер – наивысшая вершина Полярного Урала – 1500 м. Склоны хребта большей частью круто спускаются к предгорным депрессиям, которые отделяют от подножия гор предгорные гряды с абсолютными высотами до 350–400 м. Южная часть Полярного Урала имеет характер плато, сильно расчлененных глубокими долинами, трогами и карами. Глубина расчленения до 600–800 м.

В нескольких местах хребет перебит сквозными долинами, перевальные участки которых имеют абсолютные высоты не ниже 350–500 м (перевалы Хойла, Кокпельский, Хайма). Вследствие большой расчлененности многие междуречные участки плато превратились в узкие перемычки, ширина которых нередко меньше ширины долин. Многие долины имеют типичный троговый характер с отчетливыми признаками горно-долинного оледенения. О деятельности ледников свидетельствует также ступенчатый продольный профиль трогов, цепочки озер, подпруженные ригелями, мощные конечно-моренные комплексы.





Рис. 6. Массив Рай-Из, к югу от железной дороги, Фото А. Бончук, 2008 г.

На Урале широко развит мерзлотный рельеф и криогенные процессы (Иванов, 2012б). Согласно А.И. Попову (1967) мощность вечномёрзлых толщ измеряется десятками и сотнями метров (до 400-500 м на севере) , наибольшая мощность в скальных массивах, их температура сильно изменчива в зависимости от гидрогеологических условий.

## 1.2. Климат

По Б. П. Алисову (1956), Полярный Урал лежит в двух климатических поясах. Северная часть расположена в атлантической области субарктического пояса, южная часть – в восточной подобласти атлантико-арктической области умеренного пояса. Холодный период, совпадающий с периодом аккумуляции на ледниках, здесь длится с октября по май. Теплый период – с июня по сентябрь (период интенсивной абляции на ледниках). В конце сентября – начале октября наблюдается довольно резкий переход от теплого периода к холодному. На развитие оледенения оказывают влияние 2 основных параметра – изменение температуры воздуха и

зимние осадки, и их перераспределение, что связано, в первую очередь, с циркуляцией атмосферы.

### **Циркуляция атмосферы**

Климат северной части Урала складывается под влиянием арктического воздуха, формирующегося над центральным полярным бассейном, и воздуха умеренных широт. Летом, когда на северо-востоке господствует арктический антициклон, сюда иногда проникает континентальный тропический воздух (Алисов, 1956).

На циркуляционный режим решающее влияние оказывает положение барических полей по периодам года. Зимой над большей частью Сибири расположена область высокого давления (сибирский антициклон). Отроги сибирского антициклона периодически приходят на Европейскую территорию России и даже в Западную Европу. На северо-востоке Западной Сибири ядра антициклона довольно часто расположены над районом Таймырского полуострова, образуя таймырский максимум. На северную часть Урала отроги сибирского максимума заходят редко. В Арктике, над районом Баренцева моря, проходит довольно устойчивая ложбина исландско-карского минимума. Такое сочетание барических полей зимой обуславливает преобладание южных и юго-западных ветров над северной частью Европейской территории России, идущих по западной периферии сибирского антициклона. Зимой примерно на широте Маточкина Шара проходит арктический фронт (Оледенение Урала, 1966).

Наиболее интенсивная циклоническая деятельность, связанная с арктическим фронтом, наблюдается в северной горной части Полярного Урала; к югу она постепенно ослабевает. Зимой наиболее часто приходят циклоны с запада и северо-запада по ложбине исландско-карского минимума. Прохождение циклонов сопровождается усилением ветра, повышением температуры воздуха, падением давления и увеличением осадков. Циклоны, как правило, проходят сериями, до 3-7 в серии. Обострение циклонической деятельности особенно сильно сказывается над горной частью Урала, где скорость ветра, по данным метеостанций

Б. Хадата, Плато ИГАН и Рай-Из, нередко достигает ураганной силы (более 40 м/сек). В теплый период циркуляция воздуха значительно отличается от циркуляции в холодный период. Сибирский максимум исчезает вследствие сильного нагрева материка. Исландский минимум ослабевает, а над южной частью Русской равнины часто появляются ядра азорского антициклона (Оледенение Урала, 1966).

Урал оказывает значительное воздействие на воздушные течения и фронты, проходящие по районам, прилегающим к нему. Это сказывается прежде всего в увеличении скоростей воздушных течений над Уралом. Кроме того, Уральский хребет вызывает орографические осадки на западном склоне, не связанные с фронтами. Они могут возникать при определенной барической ситуации, когда над территорией района расположены отроги сибирского антициклона. Орографические осадки на западном склоне Урала более интенсивны, чем на восточном, как в холодный, так и в теплый периоды. Этим объясняется наличие мощного снежного покрова в западной горной полосе, тогда как восточнее снега гораздо меньше (Оледенение Урала, 1966).

### **Радиационный режим**

Северная часть Урала находится за Полярным кругом, поэтому зимой здесь полярная ночь, а летом полярный день, что продлевает рабочее время. Продолжительность солнечного сияния в Зауралье и в Приуралье почти одинакова и меняется незначительно с севера на юг. Общее уменьшение продолжительности солнечного сияния в горной области Урала объясняется увеличением облачности над горами по сравнению с Приуральем и Зауральем, что, в свою очередь, зависит от циркуляции атмосферы (Оледенение Урала, 1966).

В летние месяцы приход солнечной радиации достигает 150 Дж/см<sup>2</sup>. В зимние же месяцы суммарная инсоляция не превышает 1,5% от годовой. Приход солнечной радиации влияет на поведение ледников. С увеличением прихода радиации увеличивается температура и таяние на поверхности ледников, что, в свою очередь, способствует понижению их дневной поверхности. В холодный

период для всех метеорологических станций характерен отрицательный радиационный баланс. Наибольшая потеря тепла подстилающей поверхностью наблюдается в Зауралье (в Салехарде), где отмечена наименьшая сумма радиационного баланса за холодный период. В Приуралье радиационный баланс значительно выше, что объясняется большей облачностью, в результате которой интенсивность эффективного излучения подстилающей поверхностью заметно ослабляется, а баланс увеличивается (Оледенение Урала, 1966).

### **Температура воздуха**

В связи с высокоширотным положением района холодный период более продолжительный, чем теплый. Средняя годовая температура воздуха на всей территории отрицательная, при этом в горах наблюдаются наиболее низкие ее значения. Для центральной части Полярного Урала наиболее репрезентативной является метеостанция Б. Хадата, которая работала в 1957-1981 гг. на полевой гляциологической базе Института географии АН СССР (Волошина, 1988). Установлена тесная коррелятивная связь ( $r=0,9$ ) метеозаписей, измеренных на этой станции с метеостанциями Воркута и Салехард, отстоящих от Б. Хадаты на 80 и 100 км, соответственно (Иванов, 2009). Ход температуры воздуха в зимний период синхронен на указанных станциях. Наиболее длительный ряд наблюдений на м/ст Салехард (рис. 7).

Средняя зимняя температура воздуха  $-13^{\circ}\text{C}$ , среднемесячная температура наиболее холодного месяца (февраль) лежит в пределах от  $-18$  до  $-25^{\circ}\text{C}$  (рис. 8). Абсолютный минимум температуры воздуха наблюдался на м/ст Хальмерью  $-49,6^{\circ}\text{C}$ . (Оледенение Урала, 1966). Средняя летняя температура  $+9^{\circ}\text{C}$ . Сентябрь является переходным месяцем и в среднем абляция равна аккумуляции.

Современные изменения климата вызывают потепление на Урале (Шалаумова и др., 2010, Шкляева, 2009), которое в летний период стимулирует таяние ледников. Изучение современного микроклимата в летний период 2007 и 2008 г. на леднике Обручева проводили сотрудники Университета г. Познань (Stachnik и др.,

2010, 2011), и 2008 г. на леднике ИГАН Г.А. Носенко с соавт. (2009). Анализируя график среднемесячной температуры воздуха (рис. 8), можно проследить повышение температуры за последние 40 лет. По данным м/ст Салехард в 2001-2011 гг. среднегодовая температура воздуха увеличилась на 1°C (рис. 9), среднемесячная в октябре-мае с -14,2°C до -13,3°C, в июне-сентябре с 9,6°C до 10,5°C.

В зимний период 2008/2009 г. на платообразной вершине г. Харнаурдыкеу (1246 м.) над ледником ИГАН работала автоматическая метеостанция (AWS), установленная Г.А. Носенко (Носенко и др., 2009). Анализ срочной температуры воздуха на AWS и сетевых метеостанциях позволил ещё раз удостовериться в их тесной связи (рис. 10, 11). Интересно отметить, что по прошествии 50 лет сезонный ход температуры воздуха остался в прежнем коридоре с некоторым повышением.

В последнее десятилетие на фоне повышения температуры воздуха, происходит увеличение количества осадков, особенно зимнего периода.

## **Осадки**

Уральский хребет, несмотря на сравнительно небольшую высоту, играет существенную роль в перераспределении осадков. Годовое количество осадков к западу от Урала примерно в 1,5 раза больше, чем к востоку от него (АСЛРМ, 1997). В центральной части Полярного Урала осадков втрое больше, чем в Салехарде, где осадки измерялись наиболее надёжно и регулярно по сравнению с другими м/ст.

Максимальные суммы годовых осадков по данным метеостанции плато ИГАН составляют в среднем 740 мм, до 1500 мм, что подтверждается данными стока р. Б. Хадата. В восточной полосе Урала на высоких плато (м/ст Рай–Из) среднегодовое количество осадков составляет около 570 мм. Твердые осадки на м/ст Рай–Из при сравнении их с данными снегомерных съемок, занижены примерно в 3 раза (Оледенение Урала, 1966). По данным метеостанции Салехард с 1891 г. по 2011 г., период снегонакопления продолжается с октября по май (рис. 12). В Салехарде в 2001-2011

гг. зимние осадки, составляющие примерно половину годовых, увеличились на 50 мм, за зиму выпадает в среднем 240 мм (до 700 на Б. Хадате) по сравнению с многолетней нормой 192 мм за 1891-2011 гг. На рис. 13. приведены графики распределения осадков по месяцам на м/ст Салехард за последнее десятилетие и весь предшествующий период наблюдений.

Увеличение осадков в феврале и марте достигает 20 мм, что в центральной части Полярного Урала соответствует 60 мм. Увеличение зимних осадков повышает лавинную активность и положительно сказывается на балансе массы ледников, т.к. за период аккумуляции на ледниках накапливается более 10 м снега (Иванов, 2012в). При сохранении текущих темпов изменения климата твердые осадки могут сокращаться в связи с увеличением теплого периода, что приведет к преобладанию осадков в виде дождя и увеличению абляции (Олед. С. и Ц. Евр..., 2007).

Летние осадки в виде дождей и снегопадов влияют на таяние ледников и за последние годы увеличились не только суммарно, но и пиково. В период с 1944 по 1994 год, число дней с осадками более 40 мм/сутки было всего 2, а за последние 10 лет до 5 (Олед. С. и Ц. Евр., 2007). Учитывая, что ледники расположены на более высоких гипсометрических уровнях, нежели метеостанции, и осадков над ними выпадает больше, то летние осадки более интенсивные и продолжительные. Подъем уровня оз. Б. Хадата в июле 2005 г. за 4 часа ливня достиг 20 см (Стойкин, 2007).

На таяние ледников оказывают влияние солнечная радиация, температура и осадки в теплый период. При этом во время летних дождей из-за облачности радиационное таяние снижается, но увеличивается сток по леднику, термическая и механическая абляция. В особенно жаркие дни на ледниках отмечено испарение (рис. 14), которое требует значительных затрат тепла.

### **Снежный покров и его изменчивость**

Формирование снежного покрова зависит от режима выпадения твердых осадков, лавин и ветровой деятельности, определяющей перераспределение снега. Образование устойчивого

снежного покрова в предгорьях Полярного Урала происходит в конце сентября – начале октября. В горах устойчивый снежный покров устанавливается раньше, в соответствии с абсолютной высотой и широтой места. Наиболее возвышенные участки гор Полярного Урала покрываются снегом в конце августа – начале сентября (рис. 15). В период предзимья на горных склонах отчетливо заметна снеговая граница, постепенно опускающаяся в долины рек, нередко происходит выпадение мокрого снега, который в дальнейшем замерзает, образуя плотный, почти не поддающийся дефляции наст. На крутых склонах гольцового пояса и на участках особенно интенсивной дефляции слой наста на протяжении всей зимы изредка перекрывается свежевывпавшим снегом (при штилевой погоде), но вскоре снег сдувается ветром, и покров вновь отлагается. Некоторые участки рельефа всю зиму остаются без снега. Это в основном касается очень крутых склонов каров (Оледенение Урала, 1966).



Рис. 14. Испарение с поверхности ледника ИГАН создает дымку.  
Фото П.В. Стойкин, июль 2005.

В режиме накопления снега большую роль играет ветер. В местах глубокой ветровой тени происходит увеличение толщины снежного покрова, как во время выпадения осадков, так и в последующие периоды, если сила ветра достаточна для возникновения низовой метели или поземка. В то же время на открытых участках наблюдаются длительные периоды прекращения накопления снега, а нередко даже уменьшения водозапаса в снежном покрове. Это объясняется дефляцией поверхности снега, так как зимой испарение снега незначительно. Во второй половине зимы накопление снега в основном прекращается в связи с усилением метелевой деятельности; нередко случаи значительного уменьшения водозапаса в снеге. Периоду уменьшения снегозапаса на плато соответствует обычно период интенсивного роста его на леднике, что является доказательством переотложения снега ветром с открытых мест и аккумуляции его в зонах затишья (Оледенение Урала, 1966, Khodakov, Пина, 1989).

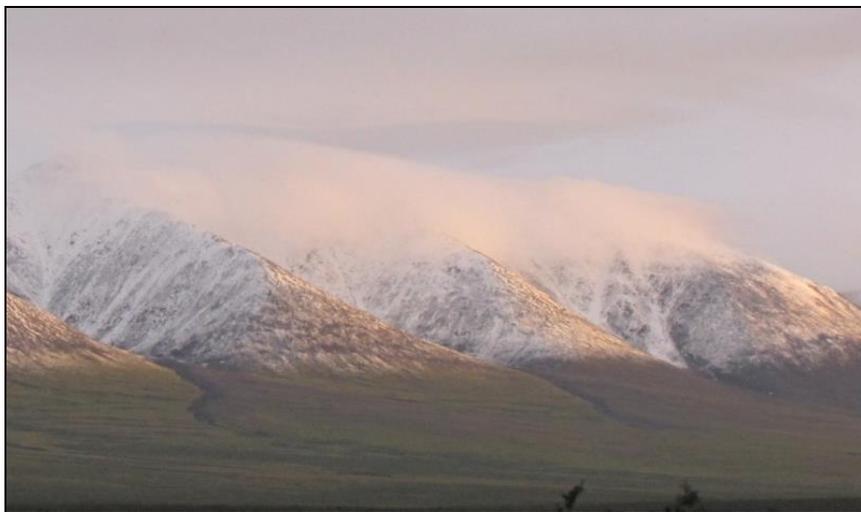


Рис. 15. Рай-Из в августе 2010 г. фото М.Н. Иванов.

Интенсивное таяние в предгорьях Полярного Урала происходит в мае – начале июня. В районах с маломощным

снежным покровом большая часть снега, а нередко и весь снег сходит до начала интенсивного таяния – во время слабых оттепелей и вследствие испарения. В горах, в зависимости от высоты местности, начало таяния смещается на более поздние сроки. Интенсивное таяние, связанное, как правило, с вторжением в район теплых воздушных масс, охватывает сразу все высотные пояса. После начала таяния и инфильтрации воды снег быстро превращается в фирн с многочисленными ледяными прослойками, при этом объемный вес снега резко возрастает до  $0,55\text{--}0,65\text{ г/см}^3$ , но в дальнейшем в период таяния мало изменяется. Наименьший объемный вес  $0,03\text{ г/см}^3$  был измерен у свежего снега, выпавшего при штилевой погоде. Наибольший  $0,56\text{ г/см}^3$  – у плотного среднезернистого снега, лежащего на прошлогоднем фирне на глубине около 9 м (фирновый бассейн ледника ИГАН). В поверхностных горизонтах снежной толщи наибольший объемный вес до  $0,40\text{--}0,45\text{ г/см}^3$  имеют снежные доски и рыхлый свежий метелевый снег барханов. В нижних горизонтах наименьший объемный вес имеет глубинный иней. При небольшой толщине снежного покрова (менее 0,5 м) объемный вес глубинной

Количество снега, накапливающееся на леднике к периоду максимального снегонакопления, является одной из важнейших составляющих вещественного баланса ледника, а также в большой степени обуславливает скорость движения ледника, распределение в нем температур, его макроструктуру (рис. 16) (Оледенение Урала, 1966).

Особенности снегонакопления на ледниках в зоне аккумуляции, его перераспределение в результате метелевого переноса формируют строение самого ледника, влияют на наступания /отступания, положения его фронта. Эти особенности на каждом отдельно взятом леднике следует рассматривать в комплексе с другими климатическими факторами: направлением влагонесущих потоков, температурой, радиационным режимом, осадками. При общей характеристике необходимо учитывать также орографические факторы, такие как ориентировка горного хребта, экспозиция и рельеф местности в целом. Исследования

В.А. Жидкова (2003) на ледниках ИГАН и Обручева в 1999 г. свидетельствуют о том, что основные величины снегонакопления за 40 лет не изменились. Это подтверждается и нашими маршрутными исследованиями в 2009 г. изморози равен от 0,12 до 0,15 г/см<sup>3</sup> (Оледенение Урала, 1966).

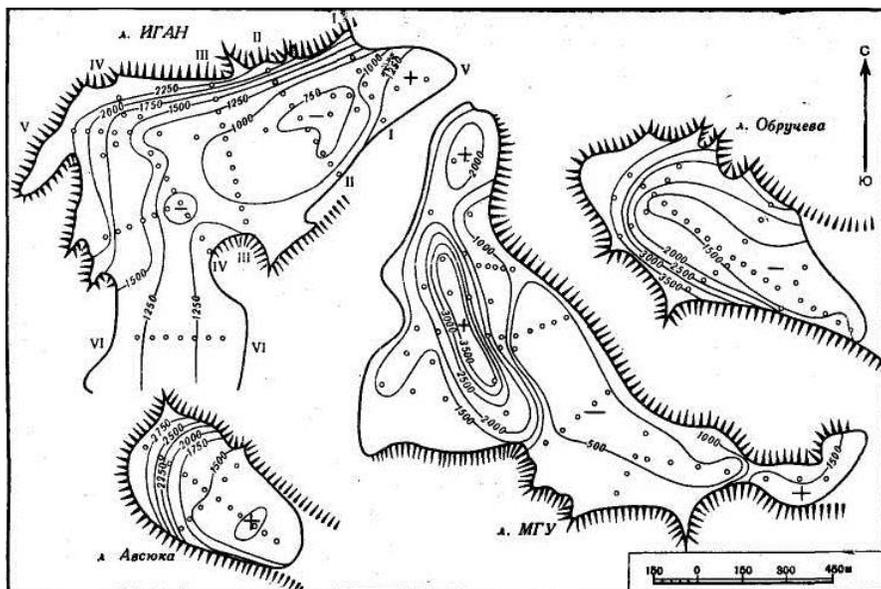


Рис. 16. Распределение величин водозапаса в снежном покрове на ледниках Полярного Урала весной 1960 г. Условные знаки: кружки – положения рек, римские цифры – номера створов (Оледенение Урала, 1966).

Ледники Полярного Урала продолжают существовать, чему способствует достаточное снегонакопление и затененное положение, несмотря на глобальный климатический тренд к потеплению. За последние десятилетия температура воздуха значительно повысилась, что усиливает абляцию и ведет к сокращению ледников, которые не могут восполнить увеличившиеся за этот же период осадки.

## 2. Гляциологическая изученность Полярного Урала

Регулярность наблюдений, проводившихся в несколько этапов, и степень изученности различных ледников Полярного Урала неодинакова. Наиболее масштабные исследования были проведены в 1957-1981 гг., когда наблюдения велись гляциологами ИГАН СССР на опорных ледниках в опытном речном бассейне верхнего течения реки Б. Хадата, а также в маршрутах по всему району оледенения.

### 2.1. История изучения оледенения района

Столетие назад среди ученых считалось, что ледников на Урале нет и не может быть, в связи с орографическими и климатическими причинами – малые высоты и континентальность (Долгушин, Осипова, 1989). Эти утверждения восходят корнями к первым исследователям, посещавшим север Урала: А.Г. Шренк, А. Кейзерлинг – 1837 г., Э. Гофман – 1847-1950 гг., П.Ф. Крузенштерн 1874-76 гг. и отмечавшим полное отсутствие в горах ледников (Оледенение Урала, 1966). Описание ранних экспедиций приводится Н. Архиповой (2002). Однако местные жители о вечных снегах знали, о чем свидетельствует упоминание С.В. Керцелли (1911, с. 40), записанное в 1908 г. со слов оленевода Е. Терентьева: «...есть у нас на Камне места, где снег никогда не тает, и там уже не снег, а такой твердый лед, что его только топор берет, а снега и льда не видно, потому что сверху завалены мелкими камнями, а внизу где кончается лед, в нем большая дыра, как пещера и оттуда течет речка. Длинною такие места бывают больше версты и ... одно не меньше 1,5 версты длиной». Сегодня известно, что это ледники №№ 2–7, (см. прил. 1) на хр. Оче-Нырды в верховьях р. Б.Кары (Оледенение Урала, 1966).

В 1929 г. геолог А.Н. Алешков (1930) открыл первые ледники Приполярного Урала на хр. Сабля. В 1930 г. геолог Г.Л. Падалка обнаружил первый ледник в южной части Полярного Урала на восточном склоне массива Пай-Ер (Оледенение Урала, 1966). В

рамках II МПГ была создана Уральская ледниковая экспедиция Государственного Гидрологического Института под руководством А.Н. Алешкова (рис. 17) и проведены первые исследования ледников на Приполярном Урале. После завершения II МПГ регулярные исследования прекратились, в 1938 г. А.В. Хабаковым (рис. 17) описаны и зарисованы ледники в северной части Полярного Урала, в районе Щучьих и Хадатинских озер (Обручева, Анучина, Шумского, Щучий, Тронова) (Оледенение Урала, 1966).

После перерыва на время Великой Отечественной войны, в период 1945-1953 гг. изучением уральских ледников занимался Л.Д. Долгушин (1949), обнаруживший 6 ледников на Приполярном Урале и



Рис. 17. Исследователи Урала. А.В. Хабаков (слева) и А.А. Алешков (справа).

обследовавший ряд ранее открытых ледников. В 1953 г. он обнаружил крупнейший очаг оледенения в северной части Полярного Урала в районе Хадатинских (рис. 18) и Щучьих озер, включающий наиболее крупные на Урале карово-долинные ледники ИГАН и МГУ. В 1949 г. М.Н. Парханов обнаружил 2 ледника, а В.В. Горбачев в 1956 г. – один. (Оледенение Урала, 1966). С 1929 по 1956 гг. на Урале всего было выявлено более 50 ледников. Ввиду отсутствия стационарных наблюдений, процессы, формирующие уральские ледники и их режим, оставались не изучены (Каталог, 1966).

В 1956 г. в соответствии с решением Междуведомственного комитета по проведению МПГ в программу гляциологических исследований был включен Полярный Урал. В отделе гляциологии Института географии АН СССР была организована Полярно-Уральская экспедиция, в задачу которой входило проведение

гляциологических исследований в северной части Полярного Урала в 1957-1959 гг. (Троицкий, 1962). В ходе МГГ был выполнен большой объем работ.

На восточном берегу оз. Б. Хадата-Юган-Лор была построена гляциологическая станция (рис. 19) и в июле 1957 г. начались наблюдения на наиболее типичных, но различных по морфологии и расположению ледниках ИГАН, Обручева и МГУ, позволившие собрать большой объем данных об оледенении. Для изучения взаимодействия климата и оледенения, состояния, пространственного распределения и закономерностей эволюции ледников были проведены стационарные физико-географические наблюдения и маршрутные исследования (Каталог ледников, 1966). После завершения программы МГГ были опубликованы 12 томов Материалов наблюдений МГГ по Полярному Уралу.

В период МГГ, в соответствии с программой, на опорных ледниках изучены процессы аккумуляции, абляции, вещественный баланс, сток талых ледниковых вод, тепловой баланс, температурный режим льда и снега, диагенез снежной толщи, движение льда. Изучено строение ледников, их геоморфологическая деятельность, следы древних оледенений, проведены фототеодолитные съемки ряда ледников. Во время снегомерных съемок через весь Уральский хребет по долинам и на плато было изучено распределение снежного покрова для выявления климатических условий существования ледников Урала (Оледенение Урала, 1966).

По завершению МГГ была отмечена необходимость дальнейшего углубления и развития изучения процессов питания и таяния ледников Урала, в частности, режима лавинного и метелевого питания ледников, роли теплового излучения скал в таянии каровых ледников; поиска связей оледенения и климата с целью количественного обоснования роли ледников как индикаторов снежности и водности районов их распространения; проведения исследований температурного режима, характера движения и строения глубинных частей ледников. Участники МГГ подчеркивали важность продолжения наблюдений за аккумуляцией–

абляцией на ледниках для получения многолетнего вещественно-балансового ряда с целью изучения изменений ледников (Оледенение Урала, 1966).



Рис.19. Заброска грузов на базу Б. Хадата в 1960-е гг.  
Фото из архива О.В. Ротогаевой.

В 1959 г. и принято решение о продолжении гляциологических наблюдений на Полярном Урале, но по сокращенной программе по сравнению с МГГ (Троицкий, 1962). Во время МГГ экспедицию возглавлял Р.Ю. Вениери. Научными руководителями экспедиции были Л.С. Троицкий до 1977 г., а за ним – А.П. Волошина до 1981 г.

В 1959–1964 гг. выявлены и описаны новые ледники северных районов Урала. Эту работу при помощи материалов аэрофотосъемок и наземных обследований проводили Л.Д. Долгушин, А.О. Кеммерих (2004) и Л.С. Троицкий (рис. 20). К 1964 г. на Урале насчитывалось 143 ледника, а обобщенные сведения всех лет исследований об оледенении вошли в Каталог ледников СССР (1966) и монографию Оледенение Урала (1966).

С 1963 г. Полярно–Уральская экспедиция приступила к проведению наблюдений за колебаниями ледников по международной программе (Материалы..., 1980, 1987). В 1964–1975

гг. районе проходили работы по программе МГД (Fluctuations, 1967), продолжавшиеся до 1981 г. (Волошина, 1988), в ходе которых были пополнены представления об оледенении и его эволюции. Проведены крупные работы по изучению баланса-массы ледников ИГАН и Обручева под руководством В.Г. Ходакова (рис. 21), А.С. Гуськова и В.В. Гохмана. За 24 сезона наблюдений (1957–1981 г.) получен довольно длительный ряд измерений баланса массы ледников (Волошина, 1988), установлена тесная связь вещественного баланса с температурой воздуха (Оледенение Урала, 1966; Ходаков, 1978) и выполнены реконструкции его на более длительный срок

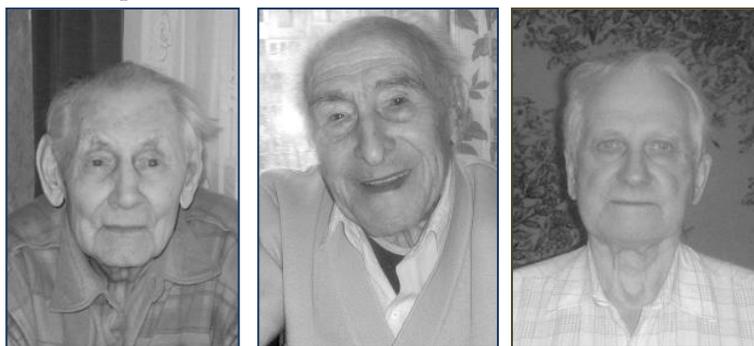


Рис. 20. Первооткрыватели ледников Урала в 2009 г. Фото М.Н. Иванов.  
Л.Д. Долгушин, А.О. Кеммерих, Л.С. Троицкий.

На 10 ледниках была развернута фотогеодезическая сеть, проведены стереофотограмметрические съемки и геодезический мониторинг ледников под руководством Д.Г. Цветкова (1970, 1990) (рис. 21). По результатам НСС построены топопланы ледников ИГАН, Обручева, МГУ, Чернова и Анучина, опубликованы геометрические размеры ряда ледников, но большинство фактического материалов, к сожалению, утрачено. На исследуемой территории была проведена аэрофотосъемка (приложение 2), позволившая составить карты, выявить ледники, а позже и сопоставлять размеры ледников (Каталог ледников, 1966).

В этот же период А.П. Волошиной (рис. 21) проведены комплексные гляциометеорологические исследования (Волошина, 1981). Вблизи ледников проведены стационарные

метеорологические и гидрологические наблюдения, осветившие климатические условия района оледенения. Многие сотрудники ИГАН проводили метеорологические наблюдения на ледниках, на м/ст плато ИГАН и на м/ст на Б.Хадата, которая с 1967 г. перешла в ведомство Омского управления гидрометслужбы (УГМС).

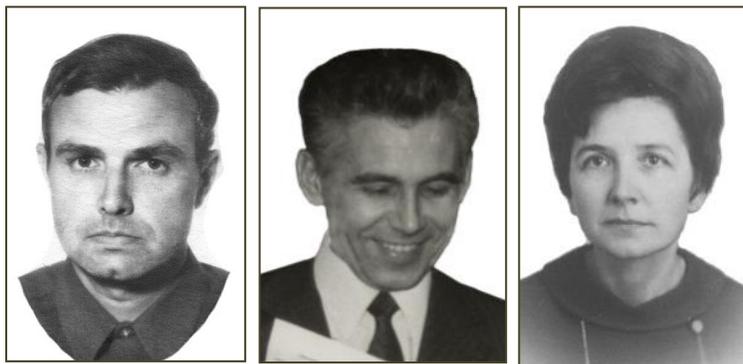


Рис. 21. Гляциологи В.Г. Ходаков, Д.Г. Цветков, А.П. Волошина.

В 1960-е – 1977-е гг. проведены исследования палеогеографических условий и истории развития оледенения в голоцене (Сурова и др., 1975; Троицкий, 1976; Мартин, 1967, 1987 и др.). В конце 1970-х годов на леднике Обручева реализован масштабный проект – проходка глубоких скважин и тоннелей (рис. 22) в леднике Обручева для изучения внутренней структуры ледника и течения слоёв (Тюлина, 1978, Baltrūnas, 2007). В 1976 г. на Полярном Урале проведена школа-семинар по гляциологии (Волошина и др., 1976), участники которого участвовали в этих работах.

По результатам наблюдений МГД и по программе изучения колебаний ледников планировалось издание заключительной монография из серии «7 книг» о водно-ледниковом бассейне Большая Хадата, которая не была издана, что привело к утрате многих материалов наблюдений (устное сообщение А.П. Волошиной, 2009). В частности одним из последствий стали разночтения в опубликованном балансе массы.

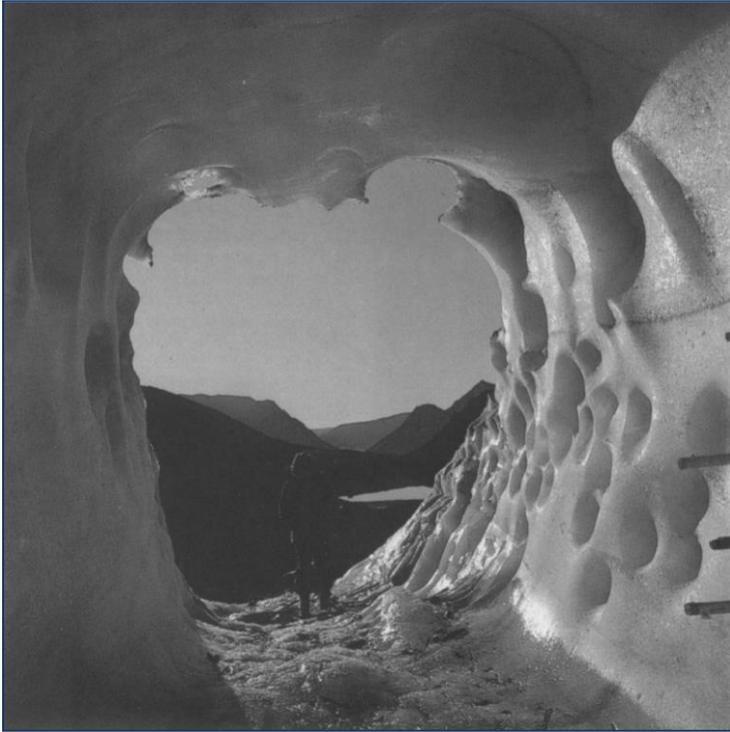


Рис. 22. Тоннель в леднике Обручева.  
Фото В.А. Брель, 19700-е гг.

В результате комплекса всех проведенных исследований на опорных ледниках удалось изучить их параметры, установить режимные и другие особенности оледенения и решить ряд теоретических вопросов гляциологии. К сожалению, данные работы охватывали лишь несколько ледников, оставляя малоизученными большую часть территории Полярного Урала, а в 1981 г. были вовсе свернуты (Суходровский, 2012). Основные сведения, об оледенении Полярного Урала, собранные в 1957–1981 гг., как базовые состоятельны и на сегодняшний день. Степень изученности территории довольно высокая, но отсутствие регулярных исследований с 1982 г. вызвало перерыв в сборе материалов.

В начале XXI в. возобновились научные экспедиции на Полярный Урал с участием сотрудников ИГАН. Полевые работы 2005, 2008, 2009 гг. Г.А. Носенко с соавторами (Глазовский и др.,

2005, Носенко, 2006; Nosenko и др., 2010), О.Н. Соломиной в 1999, 2007, 2010 гг. (Соломина и др., 2010), а также автора в 2007, 2009, 2010, 2012 гг., позволившие оценить состояние ледников и подробнее изучить их эволюцию. Важный результат 1999 г. – получение радиоуглеродной датировки морены ледника Берга (Соломина и др., 2001). Сотрудниками МГУ в районе пос. Полярный Урал изучены изотопно-геохимические особенности снежного покрова и ледникового льда (Чижова, 2006). Весомый вклад в изучение истории оледенения района вносят зарубежные экспедиции (Baltrūnas, 2007; Stachnik, 2010; Svendsen и др., 2009, Svendsen, 2011, и др.).

Необходимо отметить особенность в изучении оледенения Урала. В монографии «Оледенение Урала» (1966), вышедшей летом 1966 г., при описании ледников произведена их сквозная нумерация по бассейнам рек и западного, и восточного макросклонов с севера на юг. Таким образом, в пределах Полярного Урала рассматриваются ледники с номерами 1–91. В «Каталоге ледников Урала» (1966), вышедшем осенью 1966 г., нумерация ледников во всех областях оледенения Урала произведена по часовой стрелке, начиная с ледников, расположенных в бассейне Карского моря, а затем перечисляя ледники в бассейнах рек Баренцева моря. Таким образом, согласно Каталогу (1966) в пределах Полярного Урала рассматриваются ледники с номерами 1–70 и 123–143. Для простоты сопоставлений автором составлена таблица, выявившая ряд неточностей (Приложение 2).

## **2.2. Анализ литературных данных**

Литературных источников, посвященных оледенению Полярного Урала, немного, относительно больших ледниковых систем, вопросам эволюции и реконструкции оледенения посвящены лишь несколько из них. В Каталоге ледников Урала (1966) по состоянию на 1964 г. приведены сведения о 56 работах, изданных в 1911–1965 гг. и содержащих данные о ледниках (из них о ледниках Полярного Урала примерно 40). Из указанных работ, 43

написаны, в основном, по результатам МГГ, и лишь 13 до 1957 г., причем из них только 3 работы написаны о ледниках Полярного Урала. Авторы монографии Оледенение Урала (1966), составленной по материалам МГГ, опираются на 49 работ, перечисленных в Каталоге (1966) и кроме них ссылаются еще на 306 источников, изданных до 1965 г., из которых как минимум 10 содержат сведения о ледниках Урала, но не включены в таблицу Каталога (1966). К тому же, по состоянию на 1965 г. было издано еще более 10 работ о ледниках Полярного Урала, не учтенных ни в Каталоге (1966), ни в Оледенении Урала (1966). Например, интересна одна из таких работ В.Н. Адаменко (1963), посвященная синхронности колебаний ледников Полярного Урала, Альп и Кавказа. Этот автор выполнил первую реконструкцию колебаний ледника ИГАН за 1700–1960 гг. на основе дендрохронологического анализа.

Из анализа аннотированной библиографии по гляциологии (1983, 1994, 2008) видно, что, начиная с МГД, во многом благодаря работе экспедиции ИГАН и собранным ею данным, с 1964 по 1990 г. количество работ о ледниках Полярного Урала удвоилось. С 1991 по 2009 гг., ввиду малочисленности полевых исследований в районе, было опубликовано около 40 работ, большинство из них написаны как раз по теме колебаний и реконструкции оледенения Урала.

Изучение оледенения Урала привлекает внимание не только гляциологов и климатологов, но и палеогеографов, геологов, исследующих оледенение четвертичного периода. Необходимо отметить, что ранние работы носят лишь качественный оценочный характер площади распространения оледенения в плейстоцене и голоцене; более поздние работы подкрепляются обширным полевым материалом и привязываются к конкретным моренам, разрезам и колонкам (Троицкий, 1976; Сурова и др., 1975; Кошкарлова, и др., 1999; Долгушин, 2001; Панова и др., 2003; Cremer H. И др., 2004; Jankovska и др., 2006; Большианов, 2006).

Материалы масс-балансовых наблюдений на ледниках ИГАН и Обручева ежегодно публиковались в МГИ А.С. Гуськовым (1965-1976) и В.В. Гохманом с соавторами (1977-1982), а за 1957-67 и 1959-67 гг. соответственно опубликованы в (Groswald, Kotlyakov,

1969; Гросвальд, Котляков, 1970). Был произведен перерасчет данных, согласно требованиям МГД, которые были переданы во Всемирную службу мониторинга ледников и опубликованы в сборниках FoG (1967-1988). Обобщение данных проведено В.Г. Ходаковым (1978) и А.П. Волошиной (1988). Из-за произведенного перерасчета данные различаются. После завершения стационарных наблюдений на ледниках Полярного Урала выполнены крупные обобщения результатов наблюдений по нескольким ледниковым системам. К.Г. Макаревич и О.В. Рототаева (1986) приводят сводку об изменении баланса масса и иллюстрации, демонстрирующие колебания ледников Полярного Урала. Значения измеренных на ледниках ИГАН и Обручева составляющих баланса массы приведены за 1958-1977, 1979-1980 и 1959-1979 гг., соответственно Т.Ю. Тюлиной (Баланс массы., 1988) и с 1957 по 1981 гг. – М.Б. Дюргеровым (2002). Сведения в электронном виде по версии, опубликованной А.П. Волошиной (1988), приведены на сайтах ([iasc-nag.org](http://iasc-nag.org) и [instaar.colorado.edu](http://instaar.colorado.edu)), однако содержат ошибку величины абляции за 1964 г. и площади в 1979-1981 гг. для ледника ИГАН. В позднейшем обобщении (Global Glacier Changes, 2008) указано, что баланс на ледниках ИГАН и Обручева измерялся всего в течение 2 лет.

Чрезвычайно запутаны результаты изучения колебаний ледников, которые публиковались несколько раз, сначала в виде величин отступления ледников, и лишь сравнительно недавно Д.Г. Цветковым с соавторами (Атлас ЯНАО, 2004) опубликованы размеры некоторых ледников. Различные подходы к определению размеров привели к разночтениям, которые рассмотрены и устранены автором в 5 главе. В последние годы опубликованы статьи об изменениях ледников в XXI в. (Глазовский и др., 2005; Носенко и др., 2006; Опасные природные явления..., 2007; Ворончихина и др. 2008; Иванов, 2009, 2010; Shahgedanova и др., 2012).

Материалы срочных метеонаблюдений за период МГГ на м/ст Б. Хадата, ледник Обручева, ледник ИГАН и Плато ИГАН опубликованы в трех томах (Метеорология, 1961) и монографии

Оледенение Урала (1966). Позже публиковались лишь среднемесячные величины температуры воздуха на этих м/ст. и осадков на м/ст Б. Хадата за период с 1957-1962 гг. (Оледенение Урала, 1960). Температура воздуха на м/ст. Б. Хадата с 1957 по 1968 гг. с восстановлением пропусков в наблюдениях при помощи данных м/ст Воркута приведена в МГИ А.С. Гуськовым (1970). Температура, осадки, время солнечного сияния и величины радиации с 1958 по 1970 гг. опубликованы в сборнике FoG v.2 (1973), но со значительными пропусками в 1963-1966 гг. из-за нерегулярности метеонаблюдений. Результаты метеонаблюдений на м/ст Б.Хадата во время МГД с 1966 по 1974 гг. опубликованы в виде суточных и среднемесячных величин в двух томах (Материалы..., 1980; 1987). За 1975-1980 гг. метеоданные получены из личного архива А.П. Волошиной, которая занималась обобщением проведенных наблюдений (1981).

Остаётся слабо изучено лавинное питание ледников, играющее значительную роль в их эволюции. Специальные наблюдения за лавинами на территории Полярного Урала до 1978 г. практически не проводились (Жила, 1984) и прекратились в 1980-е гг. (yquq.net). Некоторые данные о лавинах Полярного Урала опубликованы В.Н. Адаменко и В.Ф. Околовым (1963), В.Л. Познаниным (1973), Н.Л. Кондаковой (1970, 1992) и В.И. Брухандой с соавт. (1986). В 2007-2010 гг. в ходе весенних и летних экспедиционных работ проведены наблюдения за сходом лавин, оценка лавинного питания ледников, изучены стратиграфия и плотность снежного покрова в шурфах, выполнен анализ метеорологических условий периодов схода лавин (Иванов, 2012в).

Большой интерес при изучении эволюции оледенения представляют работы о реконструкции колебаний ледников Полярного Урала. Такие реконструкции проводились преимущественно на основе связи баланса массы ледников с рядами метеоэлементов, скоррелированных и реконструированных, измеренных на м/ст Б.Хадата. Например, В.Г. Ходаков выполнил реконструкцию вещественного баланса ледника ИГАН с 1818 по 1963 гг. (Оледенение Урала, 1966). Ю.М. Кононов и М.Д. Ананичева

реконструировали баланс массы тех же ледников за период всего XX века и за тысячелетие (Оледенение, 2007; Копонов и др., 2005). В.М. Федоров (2009) реконструировал баланс ледника ИГАН за XX век по макроциркуляционной модели. Построены реконструкции по геоморфологическим данным (Оледенение Урала, 1966; Долгушин, 2001), по дендрохронологическим исследованиям (Адаменко, 1963, 1991; Копонов, Апанічева, 2005), по палинологическим спектрам (Сулова, 1975; Панова и др., 2003), по палеолимнологическим данным (Большянов, 2006), по лихенометрическим данным (Мартин, 1967, 1987) проведено датирование морен и построение региональной кривой роста лишайников (Соломина и др., 2001, 2010).

Изучением стадияльных морен на Урале занимался Е.В. Максимов (1970), выделивший 8 стадий в долинах рек М.Пайпудына, Собь и др. и построивший кривую дегляциации Полярного Урала с указанием времени формирования каждой морены. В 1971-1973 гг. проведено изучение древнего оледенения Полярного Урала под руководством Л.С. Троицкого (1976), основное внимание было уделено изучению распространения стадияльных морен, отложений ледниково-подпрудных озер и их взаимоотношений с конечными моренами, влияния оледенения на перестройку гидрографической сети в горах и др. вопросам. На основе спорово-пыльцевого анализа и радиоуглеродного датирования установлен горнодолинный характер оледенения в позднем плейстоцене и исчезновение ледников в оптимум голоцена (Сулова и др., 1965, Сулова и др., 1968, 1974, 1975). Ввиду ограниченности исследований была отмечена важность изучения последнего этапа развития оледенения в субатлантическое время.

На основании наблюдений и обобщений Л.С. Троицкий (Оледенение Урала, 1966) и Л.Д. Долгушин (1960, 2001) сделали вывод о том, что современные уральские ледники являются не реликтами прошлого оледенения, сохранившимися благодаря теневому положению в карах, а развивающимися ледниками, существующими значительно ниже снеговой границы, вследствие

короткого периода абляции на фоне низкой температуры воздуха и высокой концентрации в карах навешанного и лавинного снега.

Информация об оледенении Полярного Урала содержится в ряде Атласов (Mountain ... Atlas, 1975; Атлас Арктики, 1985; АСЛРМ, 1997; Атлас ЯНАО, 2004; Ананичева, 2008 – Атлас МЧС; Zverkova, 2010; Satellite image atlas, 2010). Ледникам Урала посвящены научно-популярные публикации (Маркин, Ходаков, 1971; Данилова, Кеммерих, 1973; Брелль, 1974; Зингер, 2000; Кеммерих, 2004; Супруненко, 2008; Медведков, 2010), однако две последние публикации содержат целый ряд ошибок. В 1977 г. киностудией Пермьтелефильм был снят документальный фильм «Ледники Урала» (15 минут), запечатлевший гляциологические исследования. Первый фильм о ледниках Урала «У Полярного круга» был снят в 1953 г. при участии Л.Д. Долгушина.

Непосредственное отношение к обзору литературы по изучаемой теме имеет научная дискуссия о малых формах оледенения, разрабатываемая многими авторами (Троицкий, 1963; Перов, 1965; Тронов, 1966; Сарана, 2005; Рыбак, 2007; DeBeer, 2009; Коваленко, 2011 и др.). К малым относят ледники площадью менее 0,1 км<sup>2</sup> (Гляциологический словарь, 1984) или менее 2,5 км<sup>2</sup> (Троицкий, 1963), что справедливо и обусловлено особенностями этих ледников – морфологией и быстрой реакцией на изменения климата.

### **2.3. Сведения о ледниках Полярного Урала**

Современное оледенение Урала представлено исключительно малыми формами, среди которых по морфологическим признакам можно выделить каровые и присклоновые ледники, а также снежники. Ледники располагаются группами, образуя очаги оледенения, приуроченные к наиболее возвышенным и расчлененным участкам хребта (рис. 23).

Наибольшее количество ледников сосредоточено в северной части Полярного Урала между 68°10' и 67°30' с.ш. Второй район современного оледенения расположен в южной части Полярного

Урала (67°10' - 66°30' с. ш.). В связи с тем, что главный водораздел на Полярном Урале смещен к западу, важнейшей закономерностью в размещении ледников на Урале является приуроченность их к западной половине хребта (Оледенение, 1966). Характерной чертой уральских ледников является их преимущественно восточная ориентация. Из общего числа ледников 85% лежат на склонах и в карах, экспонированных на восток, северо-восток и юго-восток и только 15% – на север и юг. Ледников, ориентированных на запад, нет. Эта особенность в ориентации ледников по странам света связана с господством на Урале ветров западной четверти горизонта, приводящих к процессам перераспределения снега и концентрации его на подветренных склонах восточной экспозиции (Каталог ледников, 1966).

При составлении каталога ледников для Полярного Урала было решено включать в таблицу I ледники с площадью менее 0,1 км<sup>2</sup>. В 1964 г. около 60% ледников имели площадь в пределах 0,1–0,65 км<sup>2</sup>, площадь примерно трети не превышала 0,1 км<sup>2</sup>. Общая площадь оледенения на 1964 г. в различных таблицах монографии Оледенение Урала (1966) оценивалась в 28, 66 и 28,5 км<sup>2</sup>, в Каталоге (1966) в 28,66 км<sup>2</sup>. Объем ледникового льда на Урале по подсчетам составлял около 0,8 км<sup>3</sup>.

На Урале к 1 марта 1964 г. по аэрофотоснимкам и наземным исследованиям было выявлено 143 ледника, из них на Полярном Урале – 91 (табл. 1). Эти цифры приводятся во всех более поздних литературных источниках (Долгушин, Осипова, 1989; Долгушин, 2000; Глазовский и др., 2005 и др.) и требовали пересмотра (Иванов, 2010а). На сайте Всемирной службы мониторинга ледников ([nsidc.org](http://nsidc.org)) по состоянию на 2013 г. приводятся сведения лишь о 84 ледниках из 143), по всей видимости, часть данных при передаче из ИГ РАН была утеряна.

С.Г. Боч (1949) в Каровом (Вайкарском) массиве обнаружил и назвал ледник Малый Выль-Ю – исток одноименной реки, неучтенный в Каталоге (1966), однако он отмечен на топографической карте 1:100000 1979 г. наряду с другими снежно-ледовыми образованиями. По состоянию на 2009 г. на космоснимках

этот ледник не обнаружен, в то время как отмеченные на карте снежники хорошо дешифрируются. Л.Д. Долгушин и Г.Б. Осипова в своей работе (1979) приводят данные еще о двух каровых ледниках, обнаруженных в 1978 г. на хребте Тельпос-из (Северный Урал), однако, в этой же работе и в более поздней (Долгушин, 2000) сообщают о 143 ледниках, то есть на 1979 г. на Урале было описано 146 ледников, из них 92 – на Полярном Урале. Как отмечал В.Г. Ходаков (1978, стр. 115), на Полярном Урале 150 ледников, а также «...множество пока неучтенных ледников и снежников-перелетков».

Таблица 1.

Сведения о ледниках Полярного Урала (Оледенение Урала, 1966)

Кол-во/площадь	северная часть		Южная часть	
	каровые	присклоновые	каровые	присклоновые
Кол-во ледников	31	32	17	11
Площадь ледников, км <sup>2</sup>	11.52	3.57	4.51	1.18

С.В. Калесник (1963) указывал, что ледники Полярного Урала являются «климатически не обоснованными». Существование оледенения возможно благодаря повышенной концентрации снега и наличию затененных участков. Г.К. Тушинский (1963) приводил в качестве доказательства этих обстоятельств величину абсолютной высоты предложенного им «уровня 365» для Урала: от 2300 м до 2500, в то время как максимальная высота гор всюду меньше.

В условиях увеличения абляции происходит сокращение и исчезновение ледников. В ходе наших исследований выявлено, что на современных космических изображениях и на топографических картах 1:100000 присутствуют ледники, не занесенные ранее в Каталог (1966), причем площадь некоторых из них, по данным дешифрирования, достигает 0,5 км<sup>2</sup>. Детальный анализ космических снимков и полевые исследования показали, что по состоянию на 2011 г. на Полярном Урале можно выделить 76 ледников: из них 40 каровых и 36 присклоновых, все ледники имеют площади менее 1 км<sup>2</sup>. Площадь оледенения с 1964 по 2011 гг. сократилась на 5 км<sup>2</sup>

(25%) и составляет около 15 км<sup>2</sup>. Ограниченность полевых исследований и трудности изучения ледников небольших размеров ввиду их большой изменчивости от года к году, затрудняют определение точной площади оледенения. Данные об исчезнувших и выявленных автором ледниках отражены в Приложении 2.

Обзор гляциологической изученности района показал, что на ледниках Полярного Урала были выполнены уникальные работы, получены фундаментальные сведения и большое количество данных в целом по району оледенения, однако часть этих данных не была опубликована или утрачена. Сосредоточение усилий исследователей на опорных ледниках обусловило их всестороннюю изученность, но привело к недостаточной изученности подавляющего числа ледников и неопределенности их точного количества. В результате перерывов в исследованиях и применения различных подходов и методик, данные о колебаниях ледников не приводились к одному знаменателю, а о состоянии ледников в 1980-е и 1990-е гг. сведений не было. Предыдущими исследователями подчеркивалась необходимость детального изучения колебаний ледников и эволюции оледенения в позднем голоцене. Перечисленные особенности изучения оледенения определили круг задач исследования, для решения которых потребовалось применение комплекса методов.

### 3. Методические основы исследования колебаний ледников

Колебания ледников – это изменения размеров (площади, длины, толщины) и формы ледников, обычно сопровождающиеся наступанием или отступанием их концов (Гляциологический словарь, 1984). Значительно разработал теорию колебаний ледников П.А. Шумский (1975). С.В. Калесник (1963) выделял колебания сезонные; вековые и многовековые обусловленные колебаниями климата и преобразованиями рельефа; циклические; случайные. Колебания ледников по генезису делятся на вынужденные и релаксационные автоколебания (Гляциологический словарь, 1984). В.М. Котляков (2004) различает: вынужденные колебания, обусловленные изменениями внешней нагрузки, т.е. скорости аккумуляции-абляции льда; высокочастотные колебания скорости скольжения, вызываемые изменениями шероховатости ложа ледника под влиянием интенсивного таяния льда и подледникового стока; низкочастотные колебания, связанные с проникновением температурных колебаний в толщу ледника; релаксационные автоколебания, возникающие из-за нестационарности нелинейных кинематических связей в леднике; они выражаются в резких подвижках ледников. В классификациях существует смешение классификационных признаков и они требуют переработки.

Колебания ледников, находящихся в разных климатических и высотных зонах, часто несинхронны, что объясняется многими динамическими и климатическими причинами. Причины неодинаковых колебаний ледников по В.М. Тронову (1966): влияние экспозиции; размеры ледников; влияние форм бассейнов аккумуляции и канала стока; влияние моренного покрова; а также: неодинаковые местные изменения климата, «чувствительность» ледников к изменениям климата, период запаздывания реакции ледника на климатические изменения. Важно, что время реакции малых ледников быстрее, чем у больших (Войтковский, 1999).

Наблюдения за колебаниями концов ледников впервые в мире были начаты в Швейцарии в 1870-е. В 1894 г. на 6-м Международном геологическом конгрессе была создана ледниковая

комиссия по изучению колебаний ледников, а в 1967 г. создана постоянная служба для обобщения результатов этих наблюдений во всемирном масштабе, впоследствии преобразованная во Всемирную службу мониторинга ледников (Котляков, 2004). В 1963 г. в СССР были введены постоянные наблюдения за колебаниями почти 200 ледников, в т.ч. и на Урале, а спустя 10 лет была принята новая программа «Основные положения по организации и проведению наблюдений за колебаниями ледников», в которую включены наблюдения трех классов (Котляков, 2004): 1 – детальные круглогодичные наблюдения на нескольких ледниках, позволяющие исследовать поля распределения по леднику многих его физических характеристик, что необходимо для функционального анализа изменений ледника как физической системы; 2 – периодические (от двух раз в год до одного раза в пять лет) измерения на ледниках нескольких основных параметров, также дающих возможность изучать механизм колебаний ледников; 3 – наиболее массовый, включает фиксацию положения концевой части ледника и получение других простейших данных, характеризующих его изменения.

Для наблюдения, изучения и реконструкции колебаний ледников существует несколько способов и методов, основные из которых использованы в работе и рассмотрены ниже. Кроме инструментально измеренных колебаний ледников, нами рассматриваются моренные отложения, фиксирующие распространения ледников в прошлом и косвенные данные о климате района за рассматриваемый период для реконструкции оледенения. Для составления представления о современном оледенении Полярного Урала, наряду с наиболее изученными опорными ледниками, рассмотрены все остальные, что позволило оценить современное состояние оледенения.

### **3.1. Гляциологические наблюдения**

Прямые гляциологические наблюдения включают визуальные и инструментальные наблюдения за всеми компонентами внешнего и

внутреннего массоэнергообмена и изменениями их составляющих в нивально-гляциальных системах, а также их фиксацию в соответствующем порядке. Наиболее полную информацию об основных – вынужденных колебаниях – получают путем измерения баланса массы ледников. Важно зарегистрировать максимумы аккумуляции, абляции, положение ELA, площадь ледника, и др. параметры, измеряемые различными способами. Общую картину аккумуляции и абляции на леднике можно получить с помощью маршрутных снегомерных наблюдений по заранее расставленной сети реек или в шурфах (рис. 24), учитывая, что снежный покров/лед, в котором установлены рейки, непрерывно оседает/стаивает. Возможно, получение численных данных этих величин и дистанционными способами (Hubbard, Glasser, 2005). Концы ледников фиксируют GPS приемниками или по снимкам, желательно измерение расстояния от вершин стабильных морен.

А.Н. Кренке (1982) указывал, что традиционный «эталонный» метод изучения ледниковых систем состоит в изучении «типичных», «репрезентативных» ледников для всей системы или отдельных ее частей с последующим переносом выводов об интенсивности массообмена и направления эволюции ледников на остальные ледники системы или ее части. В то же время, он отмечал, что проблема репрезентативности сложна и предлагает использовать «медианный ледник» – ледник такого размера, когда в пределах ледниковой системы меньшие его ледники занимают в системе ту же суммарную площадь, что и большие. Причем медианный ледник гораздо информативнее, чем средний ледник. Согласно А.Н. Кренке (1982), площадь среднего ледника на Полярном Урале равна 0,2 км<sup>2</sup>, а площадь медианного 0,3 км<sup>2</sup>. Площадь ледника Обручева на период его прямого изучения 1957–81 гг. как раз составляла 0,36–0,3 км<sup>2</sup>, к 2008 г. сократилась до 0,21 км<sup>2</sup>. Площадь ледника ИГАН на 1964 г. была 1,45 км<sup>2</sup>, с учетом сокращения к 2008 г. до 0,7 км<sup>2</sup> остается больше медианного. Учитывая особенности его расположения, наибольший размер, ледник представляет интерес. Таким образом, ледники ИГАН и Обручева могут достоверно использоваться для реконструкций эволюции оледенения района.



Рис. 24. Шурф на леднике ИГАН. Фото М.Н. Иванов, 2009.

Как отмечал Г.Е. Глазырин (1991), «В гляциологической литературе употребляется ряд терминов, которыми обозначаются группы ледников и самым широким, видимо, является оледенение. Им описывается вся совокупность современных ледников некоторой обширной, часто изолированной территории – континента или горной системы». Совокупность ледников объединенных территорией, климатические условия которых меняются во времени более или менее синхронно, Г.Е. Глазырин (1991) называет ледниковой системой; при этом указывает, что при изучении эволюции нивально-гляциальных комплексов важной задачей является описание всех гляциальных объектов – от снега и

многолетнемерзлых пород до ледников и лавин в их взаимодействии.

Прямыми гляциологическими наблюдениями изучены особенности оледенения не только на репрезентативных ледниках ИГАН и Обручева путем масс-балансовых измерений, но также и на других (см. прилож. 2), а с привлечением возможностей дистанционных методов – во всем районе оледенения Полярного Урала. Как отмечает В.М. Котляков (2004), на леднике Обручева в 1960–70-е гг. были выполнены детальные наблюдения, не имеющие аналогов в мире. По сообщению В.В. Поповнина (2006), ледник Обручева является эталоном изученности в СНГ.

В работе мы будем рассматривать оледенение Полярного Урала как совокупность ледников, снежников и снежного покрова, опираясь для изучения эволюции преимущественно на наиболее изученные опорные ледники, которые характеризуют эволюцию ледниковой системы в целом. Согласно принципу актуализма, увеличение или сокращение ледников в прошлом отражает увеличение или сокращение же снежности зим, частоты и повторяемости схода лавин, изменения растительности и др. По В.А. Климанову «...в основе всех методик палеоклиматологических реконструкций лежит принцип актуализма, в котором принимается допущение о сохранении в прошлом таких же связей между климатом и .., какие существуют в настоящее время.» (Колебания климата..., 1988, стр. 55). Мы учитываем, что колебания ледника как физического тела неоднородны и нелинейны во времени на что обращал внимание П.А. Шумский (1975), и принимаем, что основным предиктором эволюции оледенения за длительный период времени являются изменения климата.

### **3.2. Гляциогеоморфологические исследования**

Изначально представления о колебаниях ледников были сформированы на основе изучения отложений и форм рельефа гляциального генезиса – морены, камы, озы, друмлины, эрратические валуны и т.п. (Шукин, 1960; Калесник, 1963). При

дальнейшем изучении морен с появлением методов абсолютного датирования стало возможно определять время формирования моренных гряд, а следовательно получать данные о размерах ледника в прошлом на определенный момент времени.

При стадильном сокращении ледникового языка возникает серия краевых и конечных морен (рис. 25), каждая из которых соответствует задержке сокращения (Шукин, 1960). На участках, освободившихся ото льда, накапливаются органические остатки и тонкие минеральные частицы, формируется почва и растительность. При увеличении мощности льда и наступании ледника происходит наложение одной морены на другую с возможным погребением молодой морены более древней. При изучении разрезов моренных отложений между моренными горизонтами могут быть обнаружены погребенные почвы и остатки растительности, позволяющие датировать периоды наступаний и отступаний ледников. Таким образом, по комплексам боковых и конечных морен могут быть реконструированы время и размах колебаний ледников (Серебряный и др, 1988; Каплянская, Тарноградский, 1993; Bennet, Glasser, 2009).

Для датирования морен используются следующие методы: радиоизотопный, термолюминисцентный, спорово–пыльцевой, изотопный, варвохронологический, корреляционный, также рассмотренные ниже дендрохронологический и лихенометрический.

### **3.3. Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии**

Эти методы изучения колебаний ледников являются дистанционными и позволяют проводить исследования в камеральных условиях с использованием материалов наземной, аэрофотосъемки и космических снимков изучаемых объектов. Они ежегодно совершенствуются, принося все более точные результаты, однако без наземных наблюдений не могут быть решены вопросы определения параметров малых ледников ввиду специфической морфологии. Существует множество методик и способов использования аэрокосмической и геоинформации и их количество

увеличивается, некоторые могут быть использованы для целей мониторинга гляциосферы.

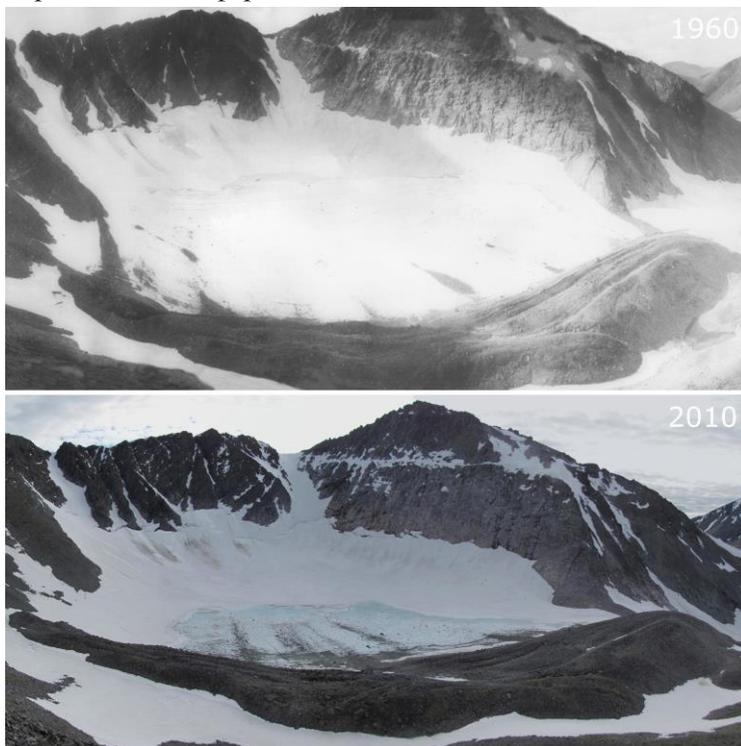


Рис. 25. Комплекс конечных морен ледника Ю.Карский.  
Фотографии Л.С. Троицкий, 1960, М.Н. Иванов, 2010.

История становления данного направления, его возможности и перспективы описаны В.И. Кравцова и Ю.Ф. Книжников (2005). В исследованиях криосферы применяют следующие виды космоснимков: в видимом, ближнем и среднем инфракрасном диапазоне; в тепловом инфракрасном диапазоне (ASTER, Terra); снимки в радиодиапазоне; самолетное и наземное радиолокационное зондирование ледников; радиоальтиметрия; лазерная альтиметрия (Кравцова, Книжников, 2005). Для малых ледников наиболее применимы снимки высокого разрешения в видимом диапазоне. Из-за частой облачности и ранних снегопадов съемка ледников возможна лишь в конце августа – начале сентября.

Для мониторинга ледников реализуются международные проекты – GlobGlacier (Paul и др., 2009) и GLIMS в рамках которого во время работы аппаратуры ASTER на борту орбитальной платформы "Терра" отсняты практически все ледниковые районы Земли, в том числе территории, за которые отвечает Московский региональный центр (RC16), куда входит и Урал. Для Урала проведены обработки полученной информации (Носенко О., 2006; Носенко Г. и др., 2006) и выполнен анализ сокращения оледенения на Урале. В работе выполнена обработка ряда снимков для получения сведений о ледниках (рис. 26).

Методика обработки космических снимков представляет собой отдельное научное направление и не поддается подробному описанию в рамках работы. Подробно эта методика рассмотрена И.К. Лурье с соавт. (2004), И.А. Лабутиной (2004) и в монографии (Оледенение С. и Ц. Евр., 2007). Ниже приводится описание наших работ.

Высокоточную информацию для наблюдений за колебаниями ледников дает и повторная наземная стереофотограмметрическая съемка. Методика НСС позволяет оценить изменение не только площади, и длины, но и объема (Авгевич, 1962; Бруевич, 1963; Цветков, 1990). Становление фотогеодезического мониторинга ледников в СССР связано с Г.А. Авсюком (Ю.Ф. Книжников и др., 2007) и позволило получить массовый материал о топографии ледников. На Полярном Урале фотогеодезическим мониторингом были охвачены 10 ледников (Цветков, 1970), однако опубликованы материалы лишь для пяти ледников.

### **3.4. Лихенометрический и дендрохронологический методы**

Входят в группу фитоиндикационных и позволяют детально восстанавливать палеогеографические условия (Турманина, 1979).

**Лихенометрический метод** один из продуктивно используемых в настоящее время для реконструкции колебаний ледников. Он основан на медленном, закономерно меняющемся во времени приросте эпифитных лишайников (Соломина, 1999). Метод широко применяется

во многих районах мира для датирования разных генетических типов отложений, в том числе морен. На каждой морене ледника производится замер диаметра нескольких десятков лишайников для выявления максимального и среднего из пяти максимальных. На основе кривой скорости роста лишайников рассчитывается время обнажения и заселения субстрата.

По размерам лишайников на Полярном Урале выделяются молодые поверхности абляционной морены, оформившиеся во время отступления ледников в последние 50-60 лет (1954-1960), маломощные морены начала XX в., первые боковые морены приблизительно 1880-х гг.; мощные и хорошо сохранившиеся конечные морены первой трети XIX века, а также нескольких более древних стадий (Solomina и др., 2010). На основе этих данных на примере ледника ИГАН нами обозначены датировки времени формирования морен (рис. 27).

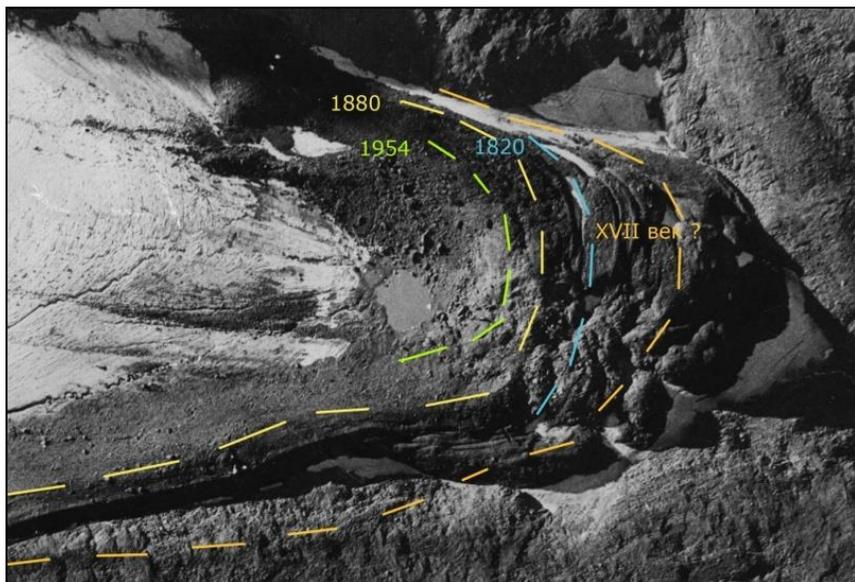


Рис. 27. Морены ледника ИГАН на фрагменте АФС 1958 г. с датировками по данным Ю.Л. Мартина (1987) и автора.

Ю.Л. Мартин (1987) в результате изучения лишайников показал, что конечно-моренный комплекс ледника ИГАН имеет сложное строение и состоит из ряда валов, отражающих наступания – ближайшие морены датируются около 1954-1960, 1875-1891, 1872-1883, 1808-1832, 1642, 1651, 1592, 1460, 1409, 1258, 1157 гг. Датировка морен Полярного Урала из-за отсутствия древних возрастных реперов производится нами на основе общегеографических закономерностей по аналогии с массивом Сарек в Ю. Швеции, что весьма обосновано (Solomina и др., 2010).

**Дендрохронологический метод** – один из самых перспективных для реконструкции климата в горах, датирования морен и даже восстановления баланса массы ледников. Для климатических реконструкций особенно перспективна денситометрия – измерение плотности годовых колец. К сожалению, в большинстве горных районов бывшего СССР на голоценовых моренах нет древесной растительности, так что использовать этот метод для датирования морен нельзя. Для Полярного Урала существуют длинные и надежные реконструкции климата (Briffa, 2001; Шиятов и др., 2002; Hantemirov и др., 2002; Горланова, 2009; Хантемиров, 2009).

К сожалению, долгое время в Советском Союзе было принято рассчитывать индексы прироста древесины как отклонения от 20-ти – 30-летних скользящих средних, что приводило к искажению климатического сигнала. Поскольку большинство шкал в 1970-1980-е гг. было опубликовано в виде таких индексов, использование их для долгопериодных климатических реконструкций невозможно (Соломина, 1999). В.Н. Адаменко (1963) по дендрохронологическим данным выполнил реконструкцию метеоэлементов для ледниковой зоны и баланса массы ледника ИГАН, а Ю.М. Кононов и М.Д. Ананичева (2005) построили наиболее длинную реконструкцию баланса. Дендрохронологические исследования дают данные о распространении древесной растительности, отражают колебания климата и ледников. Например, наиболее неблагоприятными для леса на Ямале были XVI и XIX вв. (Соломина, 1999).

### 3.5. Повторные съемки и фотографирование ледников

Специфика широкого человеческого восприятия наблюдаемых изменений окружающей среды определяет необходимость визуальной информации. Для наглядности демонстрации изменений окружающей среды наиболее приемлемым являются повторные ландшафтные фотосъемки, которые используются во многих районах Земли. Для Полярного Урала С.Г. Шиятовым (2009) выполнены повторные фотосъемки растительности, показавшие значительное продвижение кустарниковых и древесных форм растительности вверх по склону и на север за последние десятилетия. Повторными фотосъемками с закрепленных базисов может производиться фиксация отступления ледников (Zeitschrift..., 2005; Lillquist, 2006, Repeat..., 2010, Иванов, 2010б).

Нами собраны изображения ледников за разные годы для сопоставления повторных снимков, отражающих, наряду с растительностью, изменения ледников Полярного Урала. Сопоставление за несколько временных срезов позволило произвести сравнение и выполнить анализ изменения ледников. В результате обобщения материала, собранного предыдущими исследователями, установлено, что началом визуального мониторинга эволюции оледенения Полярного Урала следует считать 1938 г., когда художник Вербицкая из уральской экспедиции В.А. Хабакова зарисовала ледники Анучина, Шумского, Обручева, Щучий и Тронова (Хабаков, 1945). Нами собраны более 10 тысяч изображений ледников Урала, начиная с рисунков Вербицкой, фотоснимков Л.Д. Долгушина 1953 г. и Л.С. Троицкого 1958 г. до последних лет, отражающих положение ледников на несколько периодов и демонстрирующие изменения климата и горных экосистем. Установлено, что за последние 70 лет ледники Полярного Урала в различные периоды сокращаются с разной скоростью в соответствии с изменениями климата.

В последнее десятилетие в гляциологических работах широко применяются аналитические методы, высокоточные приборы, получены массовые данные дистанционного зондирования Земли из

космоса, применены новые, более простые и точные методы получения абсолютных датировок, совершенствуются гис-технологии и программное обеспечение. Все это вызывает интерес к новым исследованиям, которые можно проводить с повышенной точностью и на обширных пространствах. Появление возможности новой интерпретации данных, полученных в XX столетии, и увеличение точности современных исследований позволяет более детально изучать современное состояние и прогнозировать изменения ледников. При исследовании приледниковых пространств и изучении колебаний ледников рассмотренные методы применены в комплексе для взаимного дополнения и уточнения результатов различных методов.

#### **4. Изменения геометрических параметров ледников Полярного Урала**

Ледники являются чуткими индикаторами изменений климата и отражают их в виде колебаний (рис. 28). За период инструментальных наблюдений все исследователи отмечали сокращение площади и высоты поверхности ледников Полярного Урала с кратким стационарированием в 1970-е гг. Изучая эволюцию оледенения, мы предполагаем подобность колебаний однотипных ледников в пределах изучаемой территории. Мониторинг опорных репрезентативных ледников при общей изученности ледниковой системы позволяет оценивать состояние всего оледенения.

К основным геометрическим параметрам ледников относятся: площадь, наибольшая длина, объем или мощность льда (Руководство..., 1966). Наиболее достоверно представление о массе ледника дает трудоемкий расчет объема, получаемый по данным радиолокации. Для мониторинга изменения массы сотен ледников в мире широко используются масс-балансовые наблюдения, позволяющие получать ежегодное изменение объема льда. Наиболее простыми в получении и массовыми являются измерения длины и площади, охватывающие тысячи ледников.

Детальное знание положения фронта, длины ледника и его площади на каждые 5-10 лет с привлечением данных о положении датированных конечных морен, при помощи нового способа математического моделирования, может служить для решения обратной задачи – построения реконструкции климата в прошлое и создания прогноза на будущее (Oerlemans, 2008, Leclercq, Oerlemans, 2011).

##### **4.1. Площадь и длина ледников**

Согласно В.Г. Ходакову (1978), в процессе деградации оледенения основные изменения затрагивают нижние части ледников, в которых решающую роль играет абляция.

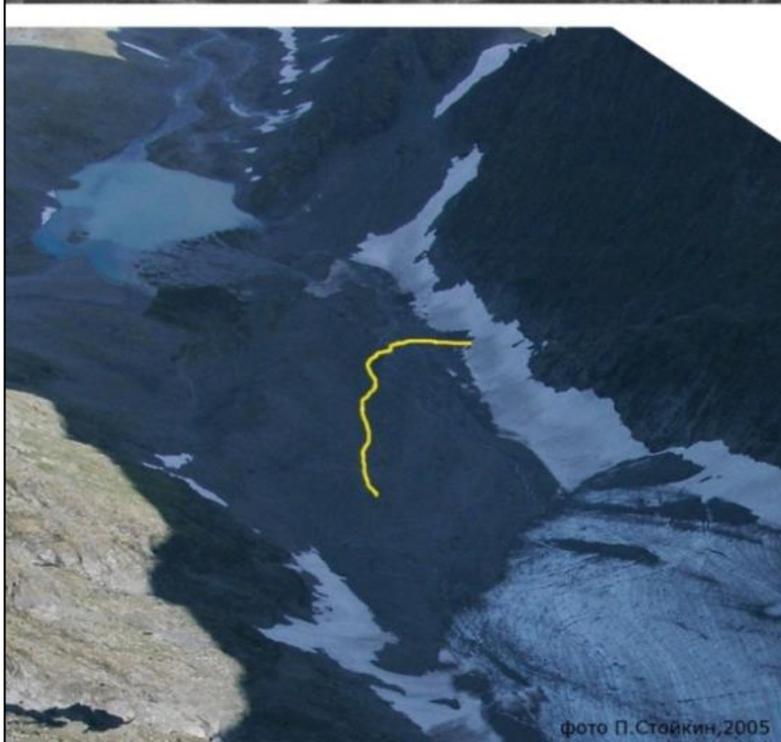


Рис. 28. Ледник Обручева в 1960 г. сверху, фото Л.С. Троицкий  
и в 2005 г. снизу, фото П.В. Стойкин.

Наблюдения за изменениями длины ледников, определяемой по измерениям положения их концов, наиболее приемлемы и достаточно информативны для мониторинга. Как отмечают Г.Б. Осипова с соавторами (2002), за сравнительно небольшие интервалы времени (несколько десятков лет) объективные данные об изменении площади ледников можно и следует получать только по данным об изменениях их языков, т.к. в стадию деградации оледенения «фирново-ледяная облицовка» интенсивно исчезает, что завывает темпы сокращения площади оледенения. В работе была поставлена задача установления морфометрических параметров ледников (длины и площади) на максимальное количество временных срезов. В ходе работы было установлено, что получение данных об изменении площади и длины ледников Полярного Урала возможно на каждые 5 лет и даже чаще, учитывая быстрое сокращение некоторых ледников или наоборот их стационарность. Препятствием в сборе данных является частая пасмурная и облачная погода, затрудняющая все виды съемок, а также отсутствие унифицированной методики определения границ ледников по снимкам.

Оценка изменений площади ледника в фирновой области субъективна и зависит от опыта исполнителя, времени съемок, разрешения изображения, закрытости тенью. При оконтуривании ледника может возникнуть проблема, включать ли в его площадь заснеженные и обледенелые участки склонов, окружающих ледник, и считать ли освобожденные от них территории. Понятие границы ледника приводится в Руководстве по составлению Каталога ледников СССР (1966), где говорится: «Граница ледника в области питания практически включает области, занятые оледенелыми склонами, покрытыми нестайающими к концу периода абляции снегами. Эта граница определяется по возможности в малоснежные годы с теплым летом. При этом может быть допущено некоторое преувеличение площади за счет включения в ледник практически неподвижных, примерзших к склонам тонких снежников. Однако их отделение от ледника крайне затруднено не только при камеральных, но и при полевых исследованиях. Однако, если есть

возможность выделить нижнюю границу оледенелых склонов по бергштрунду или другим признакам, желательно показать нижнюю границу на планах ледников. Граница между ледниками и снежниками в области абляции проводится... по различиям в тоне изображения (снежник на склоне гораздо светлее) и по излому профиля» (Руководство..., 1966).

При оконтуривании языка ледника также возникают проблемы. Конечные морены часто сливаются с поверхностной мореной, которая полностью закрывает переднюю часть ледника. В этом случае, как советуют авторы Руководства по составлению Каталога ледников (1966), «в ледник включается лед с признаками движения, имеющий с ним прямую морфологическую связь, распознаваемую по внешнему облику морены и закономерной плавности очертания фигуры ледника. Морены, отделенные от ледника глубокими провалами и резкими перегибами, в ледник не включаются даже в том случае, если они содержат ледяное ядро». Отсутствие однозначного определения границы ледника затрудняет оценку изменений площади ледников, измеренной разными авторами, что проявилось при изучении колебаний ледников Полярного Урала. Например, из-за аномально многоснежной зимы и малого таяния, зафиксированным на АФС 1968 г., установлены завышенные площади, т.к. на следующий год избыточный снег стаял (рис. 29).

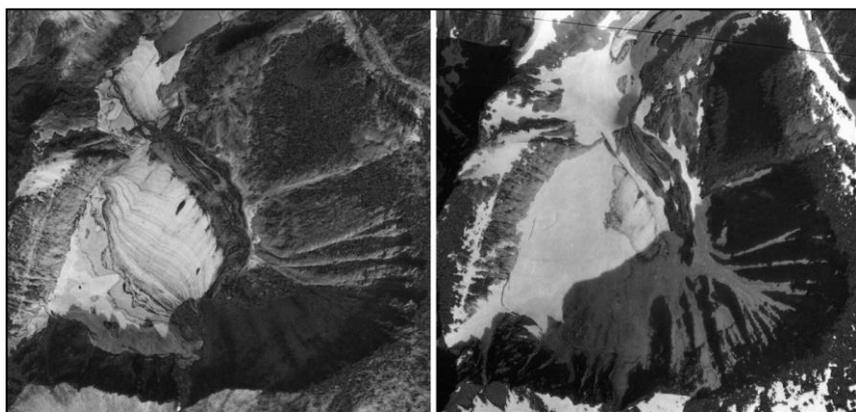


Рис. 29. Ледники Карские на АФС 1953 (слева) и 1968 (справа) гг.

В период 1957-1981 гг. 10 ледников были охвачены наземным стереофотограмметрическим мониторингом, проведено картографирование ледников и составлены крупномасштабные топографические планы ледников. Однако после ликвидации фотограмметрической лаборатории ИГ РАН большинство материалов было утрачено. Сохранившийся массив данных позволяет проводить мониторинг опорных ледников Полярного Урала.

Первые сведения о размерах ледников Полярного Урала опубликовал Л.Д. Долгушин (1960). До сих пор данные о колебаниях размеров ледников Урала публиковались отрывочно, поэтому в работе приведена сводка всей имеющейся информации. Литературные источники представлены в табл. 2. Номера в первой колонке этой таблицы соответствуют номерам источников в расположенных ниже таблицах с морфометрическими характеристиками ледников. Так как в различных публикациях размеры различаются, то те цифры, которые выпадают из общего ряда, отмечены цветом и при построении графиков в заключительной главе не учитываются. Новыми источниками информации служили полученные автором и не обработанные ранее АФС ледников 1989 г, космические изображения 2000, 2008 г., данные DGPS съемки 2008 г., проведенной Г.А. Носенко и А.Я. Муравьевым, и фотографии.

В результате проведенного обобщения установлено, что полных сведений о колебаниях любого ледника Полярного Урала до сих пор не опубликовано. Даже для 10 опорных ледников, на которых осуществлялся фотогеодезический мониторинг под руководством Д.Г. Цветкова, в различных публикациях этого автора приводятся разные данные для одних и тех же ледников на одни и те же временные срезы.

При анализе собранного материала выявлено, что размеры ледников, указанные в Каталоге ледников Урала (1966) и в монографии «Оледенение Урала» (1966), превышают размеры ледников, установленные на 1953 г., хотя известно, что в промежутки между этими годами ледники сокращались.

Таблица 2.

Источники, содержащие информацию о колебаниях ледников Урала

№	Источник	Автор	Год	Характеристика
1	Сборник МОИП	Л.Д.Долгушин	1960	Размеры и характеристика ледников
2	Гляц. иссл. №9	Л.С.Троицкий	1963	Отступление ледников в 1947-58 гг.
3	Каталог ледн. Олед. Урала		1966	Длины, площади на 1958-60 гг.
	1966		Отступление в 1947-58 гг.	
4	МГИ, вып.33	П.А.Шумский	1975	Площади ледника Обручева 1953-71 гг.
5	МГИ, вып.56	А.С.Тюфлин	1986	НСС ледников Чернова и Анучина в 1961 и 1981 гг.
6	FOG	Д.Г.Цветков	1973	Размеры некоторых ледников и отступление, не совпадающие с общими
			1988	
7	Материалы МГД	Д.Г.Цветков	1980	Длины, площади ИГАН и Обручева в 1963 г.
			1987	
8	МГИ, вып.62	Т.Ю.Тюлина	1988	Отступления 5 ледников в 1953-1981 гг.
9	АСЛРМ	Д.Г.Цветков	1997	Отступления 10 опорных ледников в 1953-1981 гг.
10	МГИ, вып.90	О.Н.Соломина	2001	Визуальная оценка размеров в 1999 г.
11	Атлас ЯНАО	Д.Г.Цветков	2004	Длины, площади 10 опорных ледников на 1953 г., отступления до 1981 г.
12	МГИ, вып. 98	А.Ф.Глазовский	2005	Некоторые размеры 10 опорных в 1953-81 гг., площади, длины МГУ, Обручева, Чернова на 2000 г.
13	Олед. С. и Ц.Ев.	Д.Г.Цветков	2006	Наиболее полные сведения.
14	Доклад на гляц. симпозиуме	Г.А.Носенко	2006	Площади 9 опорных ледников и ледника Долгушина в 1953-2000 гг.
15	Доклад на конф. по МПГ.	М.Н.Иванов	2009	Размеры некоторых ледников на 2000 и 2008 гг.
16	Solomina и др.	М.Н.Иванов	2010	Длина некоторых ледников на 2008 г.
17	Shagedanova и др.	Г.А.Носенко	2012	Площади 30 ледников в 1953-2008 гг.

Размеры 10 опорных ледников на 1953 г. впервые опубликованы в Атласе ЯНАО (2004), до этого публиковались лишь отступления от неизвестной величины в (АСЛРМ, 1997; Fluctuations, 1967-1995). Каталог и монография по результатам изучения оледенения Урала в рамках МГГ были опубликованы в числе первых и отражали состояние на 1964 г., т.е. раньше, чем издано «Руководство по составлению каталога ледников СССР» (1966). При составлении тома Каталога ледников СССР для Урала Л.С. Троицкий не использовал унифицированную методику Руководства... (1966), поэтому размеры ледников в Каталоге

приведены по нетрансформированным АФС, что обусловило их несовместимость с размерами предыдущих и последующих лет и требуют корректировки (устные сообщения Л.С. Троицкого и Д.Г. Цветкова, 2009).

Для оценки изменения площади и длины некоторых ледников, на которых подобные наблюдения уже велись в пакете программы ArcGIS, была создана электронная карта, по методике, описанной И.К. Лурье с соавт. (2004), включающая в себя космические изображения, аэрофотоснимки, оцифрованные автором топографические планы ледников, данные DGPS съемки 2008 г. Топопланы были привязаны к ортотрансформированному снимку Landsat ETM+ 2000 г. с пространственным разрешением 15 м. Данные снимки, произведенные EarthSat, имеют уровень обработки L1G, что включает коррекцию эффекта рельефа и геометрическую привязку. Для привязки использовались координаты фототеодолитных базисов, обнаруженных на местности и отмеченных на топоплане, и характерные точки рельефа, визуально дешифрированные на снимке. Для улучшения привязки использовались ортотрансформированные аэрофотоснимки. Привязка и трансформация АФС осуществлялась в программном пакете ERDAS IMAGINE 8,5. На трансформируемом слое выбирались характерные точки: выходы скал на ледниках, слияние рек и т.п. Соответствующие им точки находились на эталонном растровом изображении – ортотрансформированный Landsat ETM+. Использована координатная система UTM, эллипсоид, на который происходит проецирование – WGS-84. Использование АФС 1989 г. позволило установить границы ледников на этот год. Границы ледников 2000 г. была дешифрированы на основе снимка Landsat, а для ледников МГУ, Обручева и Чернова – по снимкам ASTER (Глазовский и др. 2005), границы 2008 г. на ледниках Обручева и ИГАН проведены путем оконтуривания точек DGPS-съемки с привлечением космоснимков 2009 г, а для ледника МГУ по ортотрансформированному космоснимку со спутника Cartosat IRS-P5 с разрешением 2,2 м., границы 2009 г. – по космоснимкам SPOT 5 с разрешением 5 м. Границы 2010 г. зарегистрированы в поле GPS-

приемниками и лазерным дальномером. В результате оцифровки контуров ледников получены новые сведения о морфометрических параметрах ледников на 1989, 2000, 2008, 2009 гг. Ошибка определения плановых размеров зависит от разрешения снимка, размера и состояния ледника, точности оконтуривания и может достигать первых десятков метров. Ошибка определения длины может удваиваться.

Ниже приводятся некоторые из подобранных повторных фотографий и рисунков ледников, контуры выборочных ледников, размеры ледников на несколько временных срезов даны в табл. 3-8, обобщающих все собранные и вновь полученные данные о колебаниях размеров ледников Полярного Урала. Некорректные данные, полученные по нетрансформированным АФС 1958-1960 гг., установленные по сильно заснеженным АФС, выделены цветом.

Изменения морфометрических характеристик нагляднее всего отображаются на графиках, поэтому в таблицы 3-8 не включены данные о скорости отступления за какой-либо период и проценты сокращения площадей из-за их относительности.

**Ледник ИГАН** (рис. 30) – самый крупный на Урале, расположен на восточном склоне горы Хар-Наурды-Кеу (1246 м). К юго-западу от него простирается обширное плато, являющееся снегосбором, благодаря которому верхняя часть ледника сохраняется почти без изменений. Ледник сложный, состоит из двух морфологически разных частей. Северная карово-долинная часть ледника занимает обширный глубокий асимметричный кар ВСВ экспозиции. Южная часть представляет собой присклоновый ледник, занимающий почти весь восточный склон плато Хар-Наурды-Кеу и спускающийся от его бровки к плато Медведь (абс. высота 900– 1200 м). Морфологически это типичный каровый ледник, в период МГГ и МГД являлся карово-долинным. Длина его 1 км, площадь менее 1 км<sup>2</sup>. Подробно описан в Ivanov, 2012.

Сокращение затронуло в основном язык и правый край ледника (рис. 30, 31), т.к. они открыты солнцу, а скальные стенки,

обуславливающие лавинное питание, отсутствуют. Присклоновая часть ледника ИГАН за те же годы изменилась значительно меньше.

Таблица 3. Изменения площади и длины ледника ИГАН  
(выделены неточные сведения)

Морфологический тип ледника	Год съемки	Вид съемки	Площадь, км <sup>2</sup>	Источник, табл. 2	Длина, км	Источник, табл. 2
Северный карово-долинный (активный)	1953	АФС	0,73	11, 12, 13	1,45	11, 16
	1960	НСС	0,69	13		
	1963	НСС	0,697 / 0,69	7 / 11	1,45	9, 11
	1968	АФС	0,78 / 0,765	12, 13 / 7	1,45	FOG2
	1971	НСС	0,722	7	1,45	9
	1973	НСС	0,75 / 0,77	7 / 11, 13	1,45	11, FOG5
	1981	НСС	0,69	11, 13	1,45	11
	1989	АФС	0,669	АФС	1,33	АФС
	2000	Landsat	0,63 / 0,56	10 / 15	1,06	15
	2008	DGPS+Landsat2000	0,51	DGPS +Landsat	1,0	16
Южный присклоновый (пассивный)	1953	АФС	0,44	11, 12, 13	0,72	11
	1958	АФС			0,64	2, 3
	1960	НСС	0,42	расчет		
	1968	АФС	0,40	11, 12, 13	0,72	11
	2000	Landsat	0,40	Landsat		
Весь ледник	1953	НСС	1,4	1	1,8	1
		АФС	1,17	FOG2, 14		
	1958	АФС	1,25 / 1,06	3	1,8 / 1,45	3
	1960	НСС	1,11	14		
	1963	Топоплан 1963	1,036			
	1968	АФС	1,06	FOG2	1,43	FOG2
	1981	НСС	1,06	17	1,45	8
	2000	Landsat	0,79	17		
2008	DGPS+Landsat2000	0,7	17	1,06	DGPS+Lan	
Балансовый	1970-80		0,81	FOG5	1,4	FOG5

Основное сокращение площади пришлось на 1989-2000 гг. и до 2008 г., максимальное сокращение длины – на 1989-2000 гг. (Иванов 2011б) В площадь ледника на 1963 г. не включали наледниковое озерцо на конце ледника, однако в более поздние годы оно сильно сократилось, и подтвердилось сообщение открывшего в 1953 г ледник Л.Д. Долгушина, что под водой лед, являющийся частью ледника.

**Ледник МГУ** в 1953 г. являлся карово-долинным и опускался до 600 м, однако постепенно сокращался (рис. 32) и с 1968 г стал каровым.

К 2008 г. ледник МГУ превратился в присклоновый, питающийся метелями и лавинами с карнизного снежника. Прекращение деградации, обусловленной прежде всего воздействием озёрной воды, и стационарирование ледника возможно после потери контакта с озером (рис. 33). При анализе табл. 4 и контуров ледника (рис. 32) обнаружено, что ранее опубликованные данные о длине ледника и ее сокращении измерялись не в соответствии с требованиями Руководства по составлению Каталога ледников СССР (1966) по оси (середине основного ствола ледника) до верховьев самого дальнего питающего потока (пунктир на рис. 32), а по оси 1953 г. (сплошная линия вдоль простираения ледника).

Таблица 4. Изменения площади и длины ледника МГУ

Год съемки	Вид съемки	Площадь, км <sup>2</sup>	Источник (табл.2)	Длина, км	Источник (табл.2)
1953	АФС	1,1	1	2,26	1, 3
		0,98	11,12,13,14,17	1,94	8, FOG5, 11
1958	АФС	1,16 / 1,06	13	2,2 / 2,1	3
1960	НСС	0,93	11,12,13,14,17	1,93	9, FOG5, 11
1968	АФС	0,86	12, 13, 14, 17	1,37	8, 9, FOG2
	FOG2	0,91		1,5	FOG2
1974	НСС	0,79 / 0,78	11, 12 / 13	1,14	FOG5, 9
1977	?	0,76	12	1,1	FOG5
1981	НСС	0,78	11, 13, 14, 17	1,37 / 1,09	8 / 11
1989	АФС	0,66	АФС	0,98	АФС
2000	ASTER	0,53	12, 10, 17	0,87	13
2008	визуально	0,45	17		
	Cartosat IRS-P5	0,386	15	0,67	15

Перерасчет величин отступления показал, что при отсчете величин по методике Руководства (1966), катастрофической деградации длины в 1968-1977 гг., (Цветков и др., 1981), не наблюдается, в 1968-2000 гг. ледник сокращался плавно, а в 1960-1968 гг. и 2000-2008 гг. резко отступил. К 2013 г. ледник МГУ, в результате интенсивного воздействия озёрной воды, из

присклонового ледника превратился в отдельные тающие скопления льда и фактически завершил своё существование как ледник, поскольку участки льда на бровке кара не имеют связи с деградирующим остатком ледника у тыльной стенки кара.

**Ледник Обручева** – типичный каровый ледник Урала, с трех сторон окружен высокими скальными стенками. Ведущая роль в питании ледника принадлежит лавинному и поступающему через понижение в задней стенке кара метелевому снегу. Ледник с 1953 г. сокращается постепенно, с непродолжительным стационарированием в 1963-1973 гг. (табл. 5) и сократился почти в 2 раза по площади и длине (рис. 34).

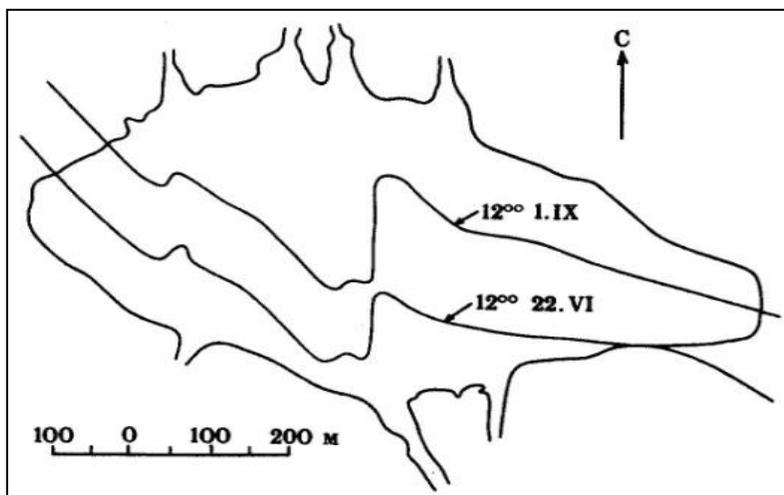


Рис. 35. Границы тени на леднике в полдень (Шумский, Красс, 1978).

Сокращение ледника Обручева после 2000 г. было не столь значительным как на других ледниках Урала. Ледник квазистабилен благодаря обширной области затенения (рис. 35). Морфологический тип переходит в карово-присклоновый (рис. 36), лед течет от южной стенки кара к морене, что говорит о возможной стабилизации при условии сохранения современных климатических параметров в условиях повышенной аккумуляции в зимний период.

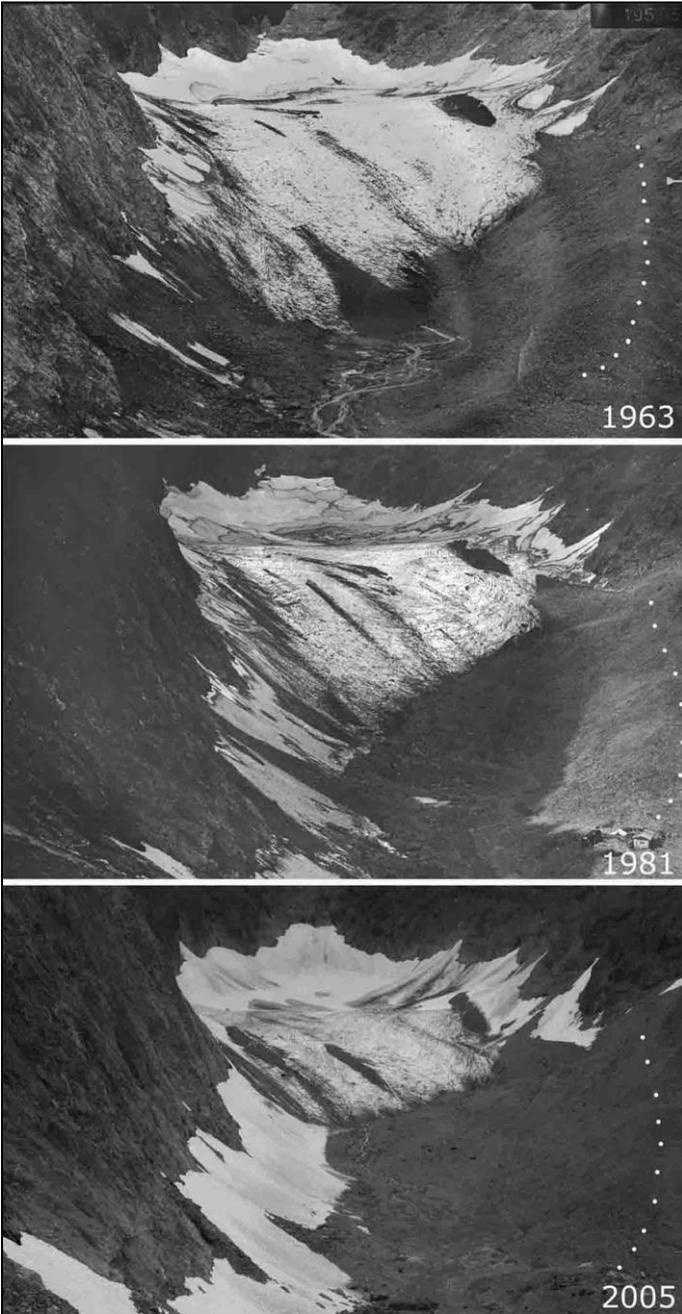


Рис. 36 Ледник Обручева. Фотографии: 1963 и 1981 гг. – Д.Г. Цветков;  
2005 – Г.А. Носенко.

Таблица 5. Колебания площади и длины ледника Обручева

Год съемки	Вид съемки	Площадь (км <sup>2</sup> )	Источник (табл.2)	Длина (км)	Источник (табл.2)
1953-71		ежегодно	4		
1953	АФС	0,35 / 0,34	1 / 17	1,2	1
	АФС	0,36	11, 12, 13, 14	1,1	3, 11, 16
1958	АФС	0,345	4	1,05	2,3
1960	АФС	0,4 / 0,34	1	1	3
	НСС	0,33	13, 14, 17	1,015	8, 9, FOG2
1963	НСС	0,313	7, 11	0,99	8,9,11,FOG2
1966	график	0,30	13	0,98	8, 9, FOG2
1968	АФС	0,33	4, 12, 13, 14	0,98	9
		0,26 / 0,30	FOG2 / 17	0,55	FOG2
1969	НСС	0,31	4, 7	0,973	8, FOG2
1971	НСС	0,307	7	0,965 / 0,968	9 / 8, FOG5
1973	НСС	0,322	7, 11, 13	0,97 / 0,965	11 / 9, FOG5
1977	график	0,30	13	0,946	FOG5
1981	НСС	0,30	11, 13, 14, 17	0,94	9
				0,95 / 0,973	11 / 8
1989	АФС	0,244	АФС	0,82	АФС
2000	ASTER	0,21	13, 14	0,745	8, 14
		0,25	17		
2008	DGPS+Landsat 2000	0,20	SPOT 5	0,65	16
		0,24	17	0,7	DGPS

Коренное ложе ледника Обручева имеет пологий уклон от задней стенки к устью кара, а ручей свободно вытекает сквозь понижение моренного вала. Между мореной и ледником не образуется озеро, что благоприятствует сохранению ледника, выбранного как опорного для Урала и способствует продолжению наблюдений за ним и наши дни. Домик гляциологов ИГАН на морене, к сожалению, разрушен. На современное предполье видны вытаявшие рейки, абляционные тросы, паровая машина, которой выплавлялся исследовательский тоннель в леднике.

**Ледник Чернова** находится в каре, к югу от ледника Обручева, и в целом схож с ним (рис. 37), однако даёт сток на запад в бассейн Кары в отличие от ледника Обручева. Ледник расположен преимущественно в юго-западной части кара, что в первую очередь обусловлено многочисленными эрозионными врезами и лавинным

питанием; северо-восточная часть открыта солнцу, что обуславливает некоторую перекошенность ледника Чернова и течение льда к морене. В 1961 и 1981 гг. проводилась НСС ледника (Тюфлин, Перевошикова, 1986). До 2000 г. ледник спускался в озеро, подпруженное мореной, что увеличивало скорость его отступления (табл. 6), после потери контакта с озером скорость отступления значительно уменьшилась и ледник практически стабилизировался.

Таблица 6. Колебания площади и длины ледника Чернова

Год съемки	Вид съемки	Площадь (км <sup>2</sup> )	Источник (табл.2)	Длина (км)	Источник (табл.2)
1953	АФС	0,27	11, 12, 13	0,82	8, 9, 11
1958	АФС	0,2	1	0,8	1
1960	АФС	0,27 / 0,23	3	0,63 / 0,68	2, 3 / 9
		0,26	14, 17	0,74	9
1961	НСС	0,263	5, 11, 12, 13	0,75	11
1968	АФС	0,26	11,12,13,FOG2	0,82 / 0,55	11 / FOG2
				0,74	8, 9
1981	НСС	0,247 / 0,25	5,11,12,13,14,17	0,65	11
1989	АФС	0,21	АФС	0,59	АФС
2000	ASTER	0,15 / 0,16	12, 14 / 17	0,47	13
2008	визуально	0,15	17		
2010				0,45	Изм. в поле

По повторным фотографиям видно, что поверхность ледника заметно понизилась, но, учитывая отступление к стенкам кара и потерю контакта с озером, произошло снижение скорости его деградации, переход в карово-присклоновый тип и относительное стационарирование, что, по-видимому, закономерно для всех подобных ледников. В ближайшем будущем при сохранении климатического тренда, ледник продолжит существовать благодаря лавинному питанию и затененному положению, аналогично леднику Обручева.

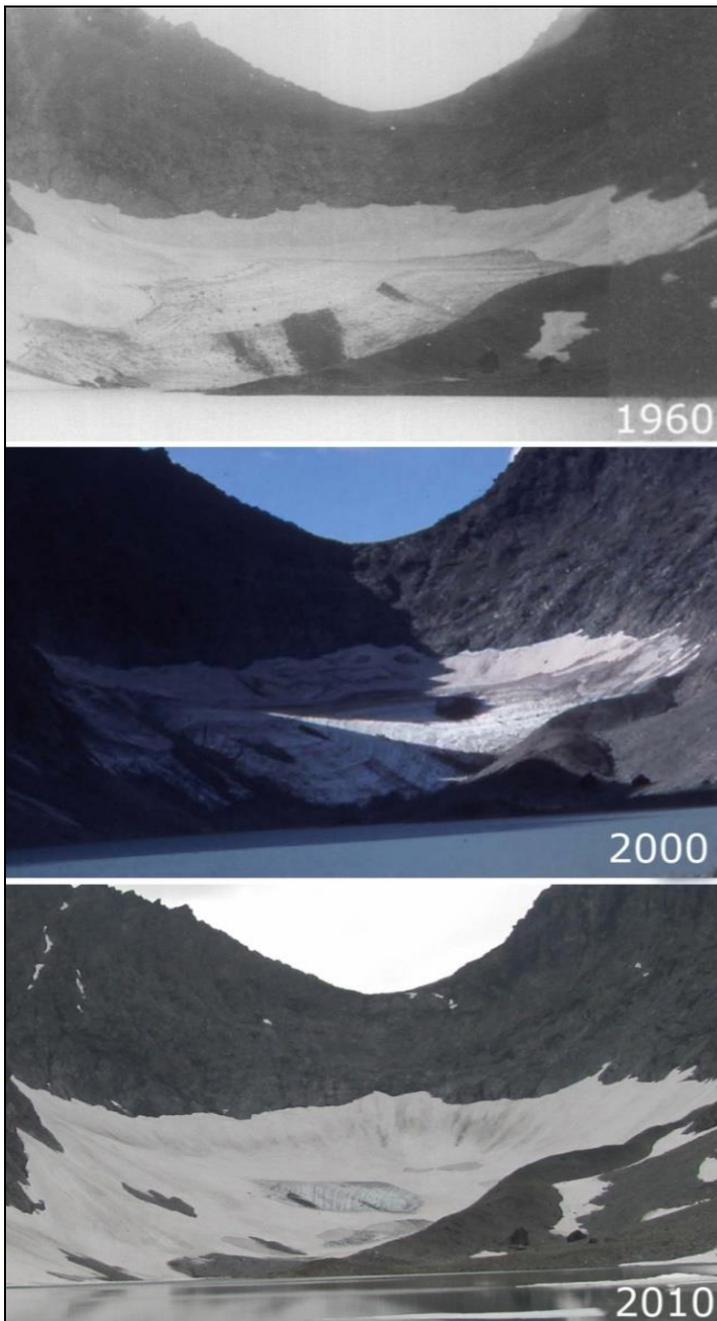


Рис. 37. Ледник Чернова. Фотографии: 1960 – Л.С. Троицкий;  
2000 – J. Mangerud; 2010 – М.Н. Иванов.

**Ледник Анучина** – типичный присклоновый ледник, по КATALOGУ (1966) каровый, расположен на северном склоне горы Анучина к северу от озера Большая Хадата (рис. 38).

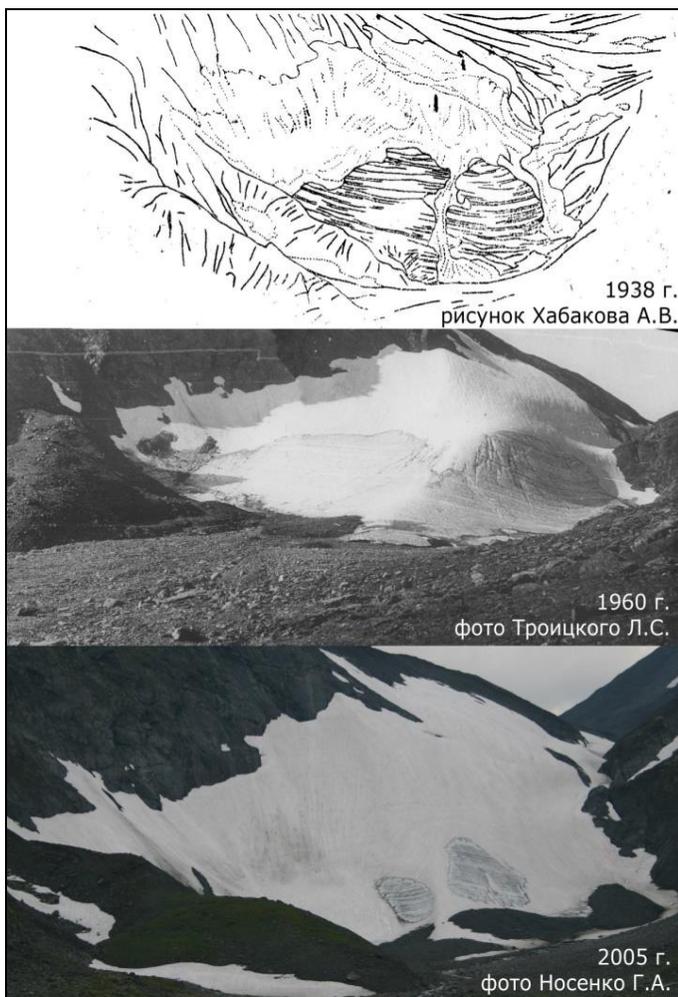


Рис. 38. Ледник Анучина в 1938, 1960 гг., 2005 гг.

Этот ледник обнаружен и зарисован еще в 1938 г. А.В. Хабаковым и имеет наиболее продолжительный ряд повторных изображений на Полярном Урале. Очертания ледника не меняются, понижение поверхности незначительно (табл. 7).

Таблица 7. Колебания площади и длины ледника Анучина

Год съемки	Вид съемки	Площадь (км <sup>2</sup> )	Источник (табл.2)	Длина (км)	Источник (табл.2)
1953	АФС	0,11	17	0,6	АФС
1958	АФС	0,17 / 0,13	3	0,6	3
	АФС	0,08	1	0,45	1
1960	НСС	0,112	5, 7, 12, 13, 14	0,6	3, 11, 16
1981	НСС	0,11	11	0,59	9
		0,10	5, 12, 13, 14, 17	0,6	3, 11
1989	АФС	0,1	АФС	0,6	АФС
2000	Landsat	0,1	10, 17	0,6	16
2008	Cartosat IRS-P5	0,1	15	0,6	15
2010				0,5	Изм. в поле

Еще одним ледником, который зарисовал А.В. Хабаков в 1938 г., является ледник **Щучий**, на рис. 39 видно, что в условиях заснеженности он зарисовал еще и ледник Тронова, хотя не знал об этом. Ледник Щучий каровый, схож с ледником Ю.Карским, но в последние годы на его языке сформировалось озеро, началась механическая абляция и деградация.

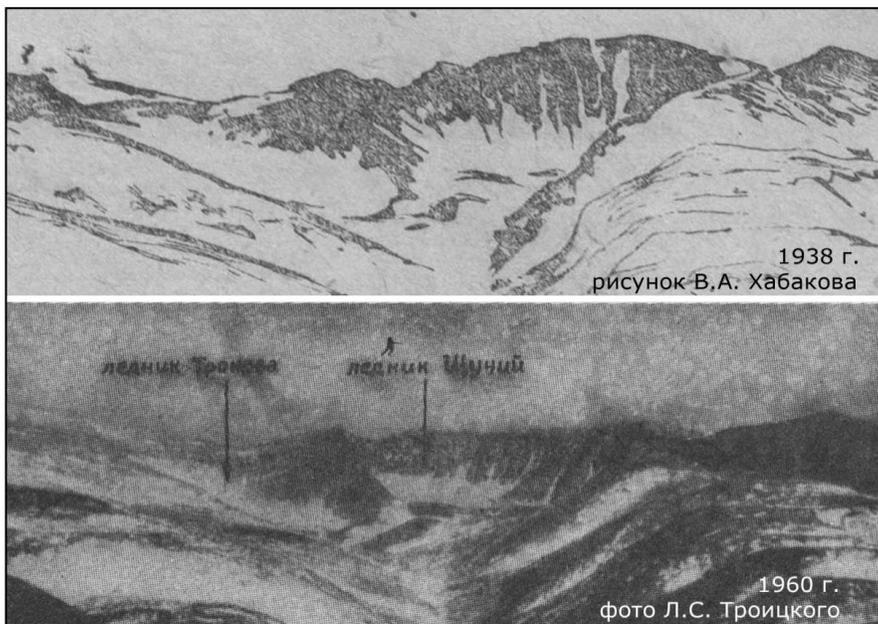


Рис. 39. Ледники Тронова и Щучий в 1938 и 1960 гг.

На приведенных ниже фотографиях, рисунках и в таблицах рассмотрены примеры колебаний ледников всех морфологических типов, отражающие общую картину эволюции оледенения Полярного Урала. Остальные сведения о колебаниях морфометрических параметров ледников приведены в табл. 8.

Таблица 8. Данные о колебаниях ледников  
(выделены неточные сведения)

Ледник (открыт)	Морфологический тип	Год съемки	Вид съемки	Площадь (км <sup>2</sup> )	Источник (табл.2)	Длина (км)	Источник (табл.2)	
Карский (1953)	северный присклон.	1947	АФС			0,5	3	
		1953	АФС	0,15	11, 12, 13	0,45	8, 9, 11	
		1960	АФС			0,39 / 0,42	2 / FOG2	
		1968	АФС	0,13	11, 12, 13	0,38 / 0,37	11 / 8, 9	
		1989	АФС	0,1	АФС	0,3	АФС	
		2000	Landsat	0,1	Landsat	0,3	Landsat	
	южный каровый	1953	АФС	0,50	11, 12, 13	0,82	11	
		1968	АФС	0,48	11, 12, 13	0,82	8, 11, FOG2	
		2000	Landsat	0,46	15	0,8	15	
		2010	Изм. в поле	0,45		0,8	Изм. в поле	
	весь (2 ледника)	1947	АФС				1,45	1
		1953	АФС	0,65 / 0,6	0, 14 / 17	1,4	0	
		1958	АФС	0,8 / 0,69	1	1,4	1	
		1968	АФС	0,61	14, 17	1,4	FOG2	
		1970	АФС	0,61	FOG2	1,4	FOG2	
2000		ASTER	0,51	10, 17				
МГТ (1957)	каровый	1958	АФС	0,54	1	1,2	1	
			АФС	0,63 / 0,5	3	1,42 / 1,1	3	
		1960	АФС	0,5 / 0,47	14 / 17			
				0,39	11, 13	0,95	11	
		1968	АФС	0,43	14			
		1973	АФС	0,44 / 0,46	11 / 17			
				0,43	13	0,94	11	
		2000	ASTER	0,33 / 0,38	14 / 17	0,8	Landsat	
МИИГАиК (1957)	каровый	1958	АФС	0,4	1	0,8	1	
			АФС	0,5 / 0,39	1	1,0	3	
		1960	НСС	0,41	11, 13, 14	1,00	11	
			АФС	0,33	17			
		1973	АФС	0,44 / 0,43	11 / 13	1,00	11	
				0,3	17			
		2000	ASTER	0,23 / 0,25	14 / 17	0,9	Landsat	

Ледник (открыт)	Морфологический тип	Год съемки	Вид съемки	Площадь (км <sup>2</sup> )	Источник (табл.2)	Длина (км)	Источник (табл.2)
Долгушина (1957)	каровый	1947	АФС			1,46	2,3
		1958	АФС	1	1	1,5	1
			АФС	0,92 / 0,75	3	1,4 / 1,15	3
		1960	НСС	0,75	14		
			АФС	0,67	17		
		1973	АФС	0,63	17	1,2	АФС
		2000	ASTER	0,45 / 0,49	14 / 17	1,0	Landsat
2008	GPS	0,46	17				
Олений (1953)	присклон.	1953	АФС	0,09 / 0,12	1 / 17	0,35	1
		1958	АФС	0,12	3	0,35	3
		1960	НСС	0,15	11, 12, 13,	0,40	11
		1971	НСС	0,13	11	0,41	11
		1981	НСС	0,1	11, 12, 13,	0,35	11
		2000	Landsat	0,1	14, 17	0,3	Landsat
Большой Усинский (1953)	присклон.	1953	АФС	0,7	1, 17	1,5 / 0,5	1 / 3
			АФС	0,65	12, 13	0,45	8, 11
		1958	АФС	0,7 / 0,68	1	0,45	1
		1968	АФС	0,63	12, 13,	0,45	8, 11, FOG 2
		2000	Landsat	0,6 / 0,67	15 / 17	0,40	Landsat
Станционный (1953)	карово-висячий	1953	АФС	0,11	3	0,35	1
		1958	АФС	0,083	1, 3	0,22 / 0,15	3
		1960	АФС	0,07 / 0,06	3		
		1963	АФС	0,04	3		
		1965	распался	0		0	
Шумского (1938)	каровый	1953	АФС	0,17	1, 17	0,75 / 0,61	1 / 3
		1958	АФС	0,25 / 0,22	3	0,57	3
		1960	АФС			0,53	2
		1999	визуально	0,15	10		
		2000	Landsat	0,15	15	0,45	15
			ASTER	0,11	17		
2008	CartosatIRS-P5	0,15	15	0,45	15, 16		
Берга (1949)	каровый	1953	АФС			0,93	16
		1958	АФС	0,25	1		
		1960	АФС	0,42 / 0,32	3	1,05 / 0,93	3
		1999	визуально	0,4	10		
			Landsat	0,4	15	0,6	15
		2000	ASTER	0,24	17		
			2008	CartosatIRS-P5	0,38	15	0,6
Ковальского (1949)	каровый	1947	АФС	0,26	3	0,4	2,3
		1953	АФС	0,185 / 0,2	3 / 17		
		1958	АФС	0,25	1	0,33	2,3
		1960	АФС	0,21	3	0,35	3
		2000	ASTER	0,13	17		

Ледник (крыт)	Морфологический тип	Год съемки	Вид съемки	Площадь (км <sup>2</sup> )	Источник (табл.2)	Длина (км)	Источник (табл.2)
Лепехина (1958)	каровый	1953	АФС	0,1	17		
		1958	АФС	0,05	1		
		1960	АФС	0,1	3	0,33	3
		2000	ASTER	0,08	17		
Калесни-ка (1953)	каровый	1953	АФС	0,15/0,18	1/17		
		1960	АФС	0,3/0,22	3	0,66/0,5	3
		2000	ASTER	0,16	17		
Авсюка (1953)	каровый	1953	АФС	0,11	1,17	0,5/0,75	1/16
		1960	АФС	0,18/0,15	3	0,75/0,6	3
		2000	Landsat	0,16	15	0,70	15
			ASTER	0,1	17		
2008	CartosatIRS-P5	0,16	15	0,70	15, 16		
Хабакова (1960)	каровый	1953	АФС	0,12	17		
		1960	АФС	0,35/0,16	3	0,9/0,45	3
		2000	ASTER	0,09	17		
Скрытый (1959)	присклон.	1953	АФС	0,08	17		
		1960	АФС	0,13/0,1	3	0,3/0,22	3
		2000	ASTER	0,05	17		
Авгевича (1953)	каровый	1953	АФС	0,09	17		
		1960	АФС	0,15/0,13	3	0,5/0,46	3
		2000	ASTER	0,07	17		
Сынок (1953)	каровый	1953	АФС	0,19	1,17	0,5	1
		1960	АФС	0,25/0,18	3	0,55/0,47	3
		1968	АФС	0,19	17		
		2000	ASTER	0,12	17		
Пальгова (1953)	присклон.	1953	АФС	0,16	1	0,5	1
		1958	АФС	0,14	3	0,3	3
		1960	АФС	0,15	17		
		2000	ASTER	0,1	17		
Маркова (1953)	каровый	1953	АФС	0,2	1	0,65	1
		1958	АФС	0,3/0,2	3	0,75/0,5	3
		1960	АФС	0,19	17		
		2000	ASTER	0,16	17		
Федорова (1953)	присклон.	1953	АФС	0,2	1	0,75	1
		1958	АФС	0,24	3	0,5	3
		1960	АФС	0,25	17		
		2000	ASTER	0,23	17		
		2010				0,35	Изм. в поле
Щучий (1938)	каровый	1953	АФС	0,8	1	1,2	1
		1958	АФС	0,7/0,43	3	1,2/0,95	3
		1960	АФС	0,47	17		
		2000	ASTER	0,37	17		
		2010				0,9	Изм. в поле

Ледник (окрыт)	Морфологический тип	Год съемки	Вид съемки	Площадь (км <sup>2</sup> )	Источник (табл.2)	Длина (км)	Источник (табл.2)
Малыш (1953)	присклон.	1953	АФС	1,12	1	0,4	1
		1958	АФС	0,14	3	0,55	3
		1960	АФС	0,13	17		
		2000	ASTER	0,12	17		
Тронова (1938)	лощинный (каровый в каталоге)	1953	АФС	0,2	1	0,7	1
		1958	АФС	0,23 / 0,21	3	0,75	3
		1960	АФС	0,22	17		
		2000	ASTER	0,2	17		
		2010	Изм. в поле	0,17		0,64	Изм. в поле
Алешкова (1953)	каровый	1958	АФС	0,5	1	1,1	1
				0,53 / 0,43	3	1,2 / 0,85	3
		1960	АФС	0,31	17		
		2000	ASTER	0,26	17		
Терентьева (1957)	каровый	1958	АФС	0,22	1	1,1	1
				0,3 / 0,15	3	1,1 / 0,85	3
		1960	АФС	0,15	17		
		2000	ASTER	0,14	17		
Боча (1957)	каровый	1947	АФС			0,46	2
		1958	АФС	0,22 / 0,19	1,3	0,3 / 0,4	2 / 1, 3
		1960	АФС	0,1	17		
		1973	АФС	0,1	17		
		2000	ASTER	0,09	17		

Сведение всех данных и инструментальных наблюдений в таблицы и анализ климатических изменений выявили периоды интенсивного сокращения ледников в 1959-1965 и 1997-2008 гг.

## 4.2. Высота поверхности и объем ледников

Аналогично описанному выше способу, в пакете программы ArcGIS была создана электронная карта для оценки изменений площади, длины и объема ледника ИГАН. Необходимо отметить некоторые особенности в наблюдениях за ледником ИГАН, т.к. это сложный карово-долинный ледник с перемётной и присклоновой частями. В период наблюдений 1957-1981 гг. площадь всего ледника колебалась около 1,1 км<sup>2</sup>. Измерения баланса массы проводились на карово-долинной части ледника ИГАН, площадью 0,81 км<sup>2</sup>, отделяемой от присклоновой части по ледоразделу. Измерения высоты поверхности ледника ИГАН в августе 2008 г. охватили лишь часть «балансового» ледника. В то же время для мониторинга

колебаний площади и длины произвели разделение ледника на Южный, включающий переметную (заводораздельную) и присклоновую часть карово-долинного общей площадью около 0,4 км<sup>2</sup>, и Северный (карово-долинная часть) площадью около 0,7 км<sup>2</sup>. Наибольшее количество информации опубликовано по леднику ИГАН «Северный», что отражено в табл. 3.

В 2008 г. на леднике ИГАН Г.А. Носенко и А.Я. Муравьев провели съемку поверхности с помощью дифференциального GPS приемника (DGPS), позволяющего получить координаты изучаемых объектов с высокой точностью. В комплект дифференциальных GPS-приемников входят стационарный базовый приемник (Trimble 4600 LS) и переносной приемник (Trimble Recon), состоящие из антенны, приемника, блока памяти для сбора данных. Один приемник был установлен на морене в точке с известными координатами и высотой (фототеодолитный базис), а второй переносился по леднику в режиме Stop&go. Получены координаты вектора базы, т.е. разность координат пунктов, на которых установлены антенны спутниковых приемников. Погрешность определения вектора базы составляет в условии небольших расстояний между приемниками от нескольких сантиметров до одного метра из-за удаленности от экватора. Для наиболее рационального использования данных DGPS съемки высокой точности и получения изменений высоты поверхности ледника необходимо основываться на столь же детальной съемке поверхности предыдущих лет. Фототеодолитные работы на леднике ИГАН и составление топопланов проводились несколько раз, к настоящему времени опубликованы в АСЛРМ (1997) карты высоты поверхности (1:25 000) и ее изменений на 1953, 1963, 1973, 1981, однако все они сильно генерализированы (рис. 40). На рисунке видно, что приведенные схемы непригодны для поставленной задачи. Единственный крупномасштабный топографический план (1:5000) ледника ИГАН на 1963 г. (рис. 41) опубликовал Д.Г. Цветков (1970). Он был положен в основу расчетов. Топоплан 1963 г. выполнен в условной системе координат в масштабе 1:5000,



границы ледника 1953, 1963, 1981, 1989, 2000, 2008 гг., топоплан 1963 г. привязывался к ортотрансформированному снимку Landsat ETM+ 2000 г. с пространственным разрешением 15 м. Данные снимки, произведенные EarthSat, имеют уровень обработки L1G, что включает коррекцию эффекта рельефа и геометрическую привязку. Для привязки использовались координаты фототеодолитных базисов, обнаруженных на местности и отмеченных на топоплане, и характерные точки рельефа, визуально дешифрованные на снимках и на местности. Для улучшения привязки использовались ортотрансформированные АФС на 1953, 1958, 1968 и 1989 гг.

В результате обработки слоев поверхностей и расчетов методом кригинга получена карта-схема (рис. 42). изменения высоты поверхности ледника между 1963-2008 г., на основе которой выполнена оценка изменений объема ледника ИГАН за 45 лет.

Поскольку DGPS-съемка 2008 г. охватила не всю площадь ледника, то она позволила получить изменение высоты поверхности (в среднем 24 м) и объема (0,0065 км<sup>3</sup> в.э.) лишь для участка ледника площадью 0,32 км. В эту площадь входит область непосредственных измерений высоты поверхности и прилегающие участки, отстоящие от точек измерений на 50-100 метров. Многолетние наблюдения и наличие высоты поверхности 1963, 1973, 1981 гг. позволяют утверждать о подобии во времени и пространстве изогипс на леднике ИГАН, что дает возможность проводить интерполяции и выполнить расчет изменения высоты поверхности на всем леднике в период 1963-2008 гг. Для проведения расчетов были подобраны и проанализированы повторные фотографии ледника (рис. 43) и результаты радиолокационной съемки.

На фотографии 2005 г. проведена желтая линия, повторяющая положение границы ледника в 1953 г. Как отмечалось ранее (Оледенение Урала, 1966; Глазовский и др., 2005), такое положение ледника сохранялось почти до 1981 г., так как ледник, сохраняя форму, становился тоньше. В центральной части снимка 2005 г. отчетливо видна вытаявшая моренная перемычка, отделяющая современный ледник от озера. По всей вероятности, до 1989 года ее перекрывал тонкий слой льда. Морена имеет форму размытого

водотоком вала с абсолютной высотой 850 м, возвышающегося над озером на 30 м, а над краем ледника 2008 г. на 10 м. Возможно, это придонная или конечная морена, отложенная в результате многолетнего стационарирования ледника.

Визуально современное предполье ледника – озеро и дистальный склон вытаявшей морены (область 1, оконтуренная зеленым пунктиром) немного ниже поверхности 1953 г. На основе снимка Landsat 2000 г. установлено, что к 2000 г. область 1 освободилась ото льда. На приведенных выше картах изменения высоты поверхности видно, что понижение ледника в области 1 в 1953-63 гг. составило 10 м, а в 1963-81 гг. 5 метров. С 1981 г. по 2000 г., стояло в среднем еще не более 10 метров, что согласуется со средней за период наблюдений скоростью понижения поверхности – 0,5 м/год (Оледенение Урала, 1966). На составленной карте изменения высоты поверхности ледника в 1963-2008 гг. видно, что снижение правого края вдоль боковой морены составляет в среднем 20 м. Учитывая превышение проксимального склона вытаявшей морены на 10 м и пологость боковой морены, в среднем снижение поверхности ледника в области 2 в 1963-2008 гг. составляет 20 м. Эти расчеты подтверждаются и тем, что в 1963-1981 гг. средняя высота поверхности на месте современного озера составляла 830 м, а на 2008 г. – 820 м; поверхность ледника над вытаявшей мореной опустилась с 870 м до 850 м.

Учитывая приведенные величины, можно заключить, что с 1963 г. по 2008 г. поверхность нижней части ледника в границах 1963 г. понизилась в среднем на 20 м. В расположенных выше частях ледника средневзвешенное по площади снижение поверхности аналогичным способом оценивается в 10 м.

Еще одним способом оценки изменения высоты поверхности и проверки рассчитанных по повторным фотографиям величин стаивания, является анализ результатов радиозондирования, которое было выполнено на леднике ИГАН по одному профилю в 1968 г. (рис. 44). Профиль проложен в той же части ледника, где проводилась DGPS-съемка 2008 г. Так как высота поверхности ледника в 1963-1968 гг. практически не изменялась, то обосновано

сопоставление данного профиля с картой-схемой изменения высоты поверхности ледника за 1963-2008 гг. и нанесение на профиль 1968 г. высоты поверхности ледника в 2008 г.

На рис. 44 видно, что на площади ледника в 2008 г. наблюдается совпадение разности высот, полученных нанесением на продольный разрез ледника расстояния и высоты с карты 2008 г., и в результате построения карты изменения высоты поверхности ледника в 1963-2008 г. В то же время нанесённая высота вытаявшей морены и освободившегося ото льда предполья совпала с нашими расчетами по анализируемым фотографиям, но не совпала с положением ложа ледника на профиле.

Продольный профиль ледника, составленный и проанализированный В.С. Лучининовым и Ю.Я. Мачеретом (1971), позволил им сделать заключение, что слоистость строения ледника определяется различиями в температуре льда. В более поздней работе Ю.Я. Мачерет (2006) отмечает, что при бурении обнаружена граница раздела холодного и теплого льда, которая является слоем с повышенным содержанием морены. Ю.Я. Мачерет в устном сообщении (2009) говорит, что несовершенство радиозондирующих устройств и получаемых данных в 1960-е годы могло привести к неверной интерпретации границ отражения. Из этого следует, что нанесенная на продольный разрез ледника граница раздела холодного и теплого льда на сократившейся к 2008 г. части ледника в действительности является границей, отделяющей придонный мореносодержащий “лед”, и под точкой 9 соединяется с обозначенным однородным изотермическим слоем. Нанесенные на разрез ледника очертания вытаявшей морены хорошо согласуются с очертаниями расположенного ниже конечно-моренного комплекса ледника ИГАН, валообразная форма объясняется ротационным движением льда, выносящего морену к краю ледника.

В результате сопоставления и анализа планов ледника 1963, 1973, 1981, 2008 гг., радиолокационного профиля и расчетов составлена оценочная табл. 9, характеризующая изменения высоты поверхности и объема ледника ИГАН в период с 1963 по 2008 г. Принято, что площадь ледника, на которой в 1957-1981 гг.

проводились измерения баланса массы, равная 0,81 км<sup>2</sup> является базовой, и оценка понижения поверхности производится на всей этой площади до 2008 г. Это допущение сделано на том основании, что поверхность понижалась повсеместно, при этом в нижней части ледник стоял до ложа уже к 2000 г., а в некоторых отчленившихся частях мертвый лед тает до сих пор. При расчете стаявшего объема недоучет потенциальной абляции на растаявшей части не влияет.

Таблица 9. Оценка изменения высоты поверхности и объема балансовой части ледника ИГАН в границах 1963 г. в 1963-2008 гг.

Часть ледника	Площадь, км <sup>2</sup>	Среднее оценочное понижение высоты поверхности		Изменение объема, км <sup>3</sup> в.э.
		км	перевод в в.э. (км*0,85)	
Область DGPS съемки 2008 г. (объем рассчитан в ArcGIS)	0,32	0,024	0,020	0,0065
Деградивовавшие (растаявшие и отчленившиеся) в 1963-2008 (в основном в 1989-2008) гг. части	0,22	0,020	0,017	0,0037
Не охваченная DGPS съемкой 2008 г. каровая часть л-ка ИГАН Северный	0,19	0,010	0,0085	0,0016
Присклоновая (балансовая) часть л-ка ИГАН Южный	0,19	0,010	0,0085	0,0016
Весь «балансовый» ледник	0,81	0,0195	0,0165 км (16,5 м) в.э.	0,0134

На основании карты изменения высоты поверхности ледника за период 1963-2008 гг. и расчета получена величина уменьшения объема ледника 134 тыс. м<sup>3</sup>, что при пересчете на площадь (0,0134/0,81) дает средневзвешенную по площади ледника величину понижения поверхности 16,5 м, в.э. (19,5 м в слое льда), которая согласуется со средней за период измерения баланса массы ледника (0,5 м/год). Анализ построенной карты, фотографий, расчетов показывают, что основная потеря массы ледника приурочена к его языковой части, верховья изменяются мало.

Для анализа хода уменьшения объема льда проведено сопоставление профилей поверхности и подледного ложа ледника Обручева (рис. 45), построенных в разные годы (Боровинский, 1964,

Мачерет, 1973; Загороднов и др., 1976; Мачерет, Журавлев, 1981; Атлас ЯНАО, 2004, Мачерет, 2006; Shahgedanova и др., 2012). Ледник Обручева ассиметричен, поэтому на схеме в работе (Мачерет, 2006, рис. 7.2Д) профиль поверхности ледника построен по линии точек бурения 1973 г. (А-Б-В) и покрывает около 820 м (карта 1:2000 1974 г.). На рис. 45 профиль поверхности 1974 г. от точки В проложен по карте на 970 м до конца ледника к точке начала ручья, что соответствует длине ледника в 1973-1974 гг. Выявлено, что профили поверхности 1953 и 1981 гг., построенные Д.Г. Цветковым по мелкомасштабным картам (Атлас ЯНАО, 2004), в верхней и нижней частях не соответствуют карте ледника на те же годы, ледник начинался на высоте 650 м и оканчивался на абс.в. 390 м, что исправлено на нашей схеме. Поверхность 1963 г. построена по карте 1:2000 (Цветков, 1970), 2008 г. – по результатам обработки данных DGPS-съёмки и карты 1:10000, построенной И.С. Бушуевой (Shahgedanova и др., 2012).

Сравнение профилей демонстрирует значительное уменьшение толщины ледника по всей длине за 1953-1963 гг., его восстановление к 1981 г. в значительной мере и дальнейшее сокращение к 2008 г. Понимание изменения объема всего ледника осложняется трудностью установления ледникового ложа. Вытаявшая к 2008 г. поверхность подледного ложа показала неполное соответствие реальности результатов радиолокационного зондирования 1973 и 1974 гг. (Мачерет, Журавлев, 1981) и вертикального электроразведывания (ВЭЗ) 1961 г. (Боровинский, 1964), что можно объяснить повышенным содержанием морены в придонном льду. Гравиметрическая съёмка 1968 г. (Мачерет, 1973) показала ложе ледника намного ближе к реальности. Высоту поверхности ложа по данным гравиметрии подтверждает и термобурение 1973 г. (Загороднов и др., 1976). Необходимо отметить, что при посещении нами ледника в 2010 г. в непосредственной близости от конца ледника (около 50 м) наблюдался обширный выход коренных пород с ледниковой штриховкой, позволяющий подтвердить высоту коренного ложа предполя, которую гравиметрия установила точнее радиолокации.

### 4.3. Границы ледников по данным лихенометрического датирования морен

Морены, возвышающиеся над современными краями ледников, фиксируют положение фронта ледника в период его наступания и стационарирования. Датирование морен позволяет устанавливать геометрические размеры ледников на соответствующий год, учитывая несущественные изменения ледников вдоль стенок каров. Ледники Полярного Урала по температурному режиму теплые, температура на ложе близка к  $0^{\circ}\text{C}$ , что способствует интенсивной экзарации ложа и, наряду с обломочным материалом, поступающим со склонов, создает материал морен (Оледенение Урала, 1966).

Ю.Л. Мартин (1987) провел замеры прироста лишайников на моренах нескольких ледников с интервалом в 11-12 лет и получил за этот период скорости от 1,46 до 1,70 мм в год. Более подробно им были измерены лишайники на гребне основного моренного вала ледника Обручева. Сверху вниз на 12 площадках через 25 м проведен замер максимального диаметра лишайников (рис. 46).

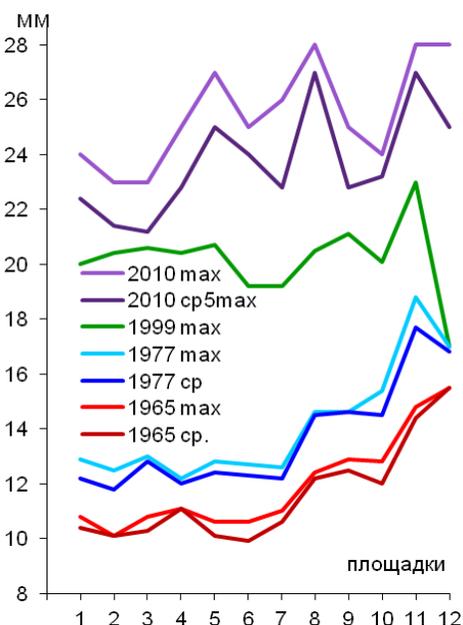


Рис. 46. Диаметры лишайников *Rhizocarpon geographicum* на морене ледника Обручева по данным измерений Ю.Л. Мартина в 1965 г. (1967) и в 1977 г. (1987), О.Н. Соломиной с соавт. в 1999 г. (2010) и автора в 2010 г.

О.Н. Соломина с соавт. (2001) провела повторные измерения диаметра лишайников *Rhizocarpon geographicum* на морене ледника Обручева по той же методике для вычисления скорости прироста лишайников и уточнения датировки морен. По расчетам Ю.Л.

Мартина (1987) скорость прироста лишайников на гребне ледника Обручева в 1965-1977 гг. составляла максимум 2,35 мм, в среднем 2,12 мм в течение 11 лет (0,17 мм в год). Скорость прироста в 1977-1999 гг. возросла и составила около 6 мм (0,3 мм в год), максимальный диаметр на морене в 1999 г. – 25 мм (Соломина и др., 2010).

Наши измерения 2010 г. (табл. 10) показали, что максимальный диаметр лишайников на основной морене ледника Обручева увеличился до 28 мм, средний прирост лишайников в 1999-2010 г. составил 0,3 мм/год, несколько меньше, чем на его других моренах и на моренах ледников Шумского и Анучина (рис. 47). Размер лишайников ледника Ю. Карского приведен для каждой морены отдельно по измерениям видов *R. alpicola*, *R. geographicum* и их среднего соотв. в трёх столбиках. Сравнение подтверждает ускоренный рост первого вида.

Таблица 10. Результаты измерений диаметра лишайников в 2010 г.

Ледник	Морена		Кол-во измер.	Диаметры		Стандарт. Отклон.	Даты*	
	№	описание		max	ср5max			
МГУ	I	Вал вдоль озера	13	13	6,6	4,5	1958	
	IV	Полка на склоне, 30 м от тальвега	3	7	6,0	0,7	1982	
	VI	С коричневыми листовыми лиш.	12	10	6,2	2,7	1970	
	VII	На выходе в широкую часть долины пов-ть 20 м над дном	17	21	15,6	3,8	1926	
	VIIa	Крупные валуны на повороте	18	85	77,2	5,5	1500-е	
	VIII	На выходе из долины (1950-1960-е)	10	12	10,0	1,4	1962	
	Сынок	II	На 5-7 м ниже вала I	2	10	8,5	1,1	1970
		IV	На зандре в основной долине	2	95	92,5	1,8	1100-е
Тронова	I b	Основной вал	38	10	10,0	0,0	1970	
	I c	Плечо вала I b	36	16	15,0	0,7	1946	
	I d	Ниже I c	30	16	15,8	0,1	1946	
	I e	Внешняя часть, дальше зандр	4	12	9,3	1,9	1962	
	II	Между Щучим и Тронова	18	101	98,2	2,0	1000-е	
Щучий	Ia	Свежая морена в озере	4	11	9,5	1,1	1966	
	II	Вал высотой 10 м	67	30	25,2	3,4	1890	
	III	Следующий вал	91	65	50,2	10,5	1700-е	
	IV	Более высокий холм	107	72	68,0	2,8	1500-е	
	V	Такой же вал за снежником	72	118	104,8	9,3	900-е	
	VI	Наиболее удаленный от ледника	37	160	144,6	10,9	?	

Ледник	Морена		Кол-во измер.	Диаметры		Стандарт. Отклон.	Даты* max/0,25
	№	описание		max	ср5max		
С.Карский	I	Свежая поверхность конечной морены	65	17	16,6	0,3	1942
	II	Склон до 30 м над дном долины	47	61	49,6	8,1	1700-е
	X	Морена между Ю. и С. Карскими	46	13	12,0	0,7	1958
Ю.Карский	I	Вал, примыкающий к леднику	35	15	14,2	0,6	1950
	II	Вал и за ним плоская площадка	48	40	26,4	9,6	1850
	III	Вал высотой до 5 м над мореной II	74	52	37,4	10,3	1802
	IV	Валик высотой до 1, 5 м	38	35	32,6	1,7	1870
	V	Плоская за валом 4, до 10 м шир.	60	86	76,4	6,8	1600-е
	VI	Площадка шириной до 10 м, от след вала отделена глубоким рвом	38	75	65,6	6,6	1600-е
	VII	Морена того же облика	75	99	89,4	6,8	1100-е
	VIII	Уровень морены, на 15 м выше	66	117	99,0	12,7	1000-е
	IX	Самая высокая, длинная широкая, состоит из нескольких	8	110	110,0	0,0	900-е
Пальгова	II	Очень нестабильная свежая	22	8	7,0	0,7	1978
	III	С правого берега	38	22	20,6	1,0	1922
	IV	Морена за озером	42	39	33,0	4,2	1854
	V	Холм высотой до 30 м над озером	11	70	53,0	12,0	1600-е
	Анучина	II t	Из-под ледника	27	20	19,6	0,3
IIa		Поле перед ледником левее ручья	27	25	22,8	1,6	1910
III		Ниже II a	29	30	29,6	0,3	1890
IV		Самый большой вал справа	31	82	73,6	5,9	1500-е
Шумского	I	Основной вал	32	26	24,2	1,3	1913
	II i	Плечо вала I	11	20	18,8	0,8	1930
	II t	Вдоль озера плечо вала III	29	25	24,2	0,6	1910
	III	За озером	22	36	33,2	2,0	1866
	IV	Ниже вала III	10	42	39,2	2,0	1842
Чернова	I	В углублении вала II	11	25	24,0	0,7	1910
	II	Наиболее высокий вал	32	25	23,2	1,3	1910
	III	Ниже и моложе вала IIIa	41	34	31,8	1,6	1874
	IIIa	Продолжение вала II	10	33	31,6	1,0	1878
	IV	Ниже вала IIIa	31	29	27,2	1,3	1894
	V	Самый низкий	31	35	33,6	1,0	1870
Обручева	III i	Основной вал	268	28	28,0	0,0	1898
	III t	От развалин домика вниз по течению	29	28	26,4	1,1	1898
	IVa	Отделён от вала III t зандром	22	48	45,6	1,7	1818
	IV t	Примыкает к валу IV со стороны ледника на левобережье ручья	23	42	37,8	3,0	1842

\* - Курсив – округленные даты с логарифмической кривой скорости роста лишайников.

На основе реконструкции баланса массы ледника ИГАН и связи с кривой массива Сарек (Сев. Швеция) О.Н. Соломина с соавт. (2010) уточнила кривую роста лишайников на Полярном Урале (рис. 48). Среднегодовая скорость прироста лишайников оценивается в 0,25 мм в год за последние 100-200 лет.

Кривые роста лишайников на длительный период построены для нескольких горных стран (Briner, 2011, Walker, 2005). Отмечено, что быстрый линейный прирост лишайников сменяется периодом замедленного роста и кривая приобретает логарифмический вид (рис. 49). Наложение рис. 48 на рис. 49 демонстрирует устойчивость скорости роста лишайников *Rhizocarpon geographicum* в первые 200-300 лет и по аналогии с районами, схожими с Полярным Уралом, по ороклиматическим условиям, позволяет продлить кривую роста на 1000 лет для расчета времени появления лишайников и формирования морен.

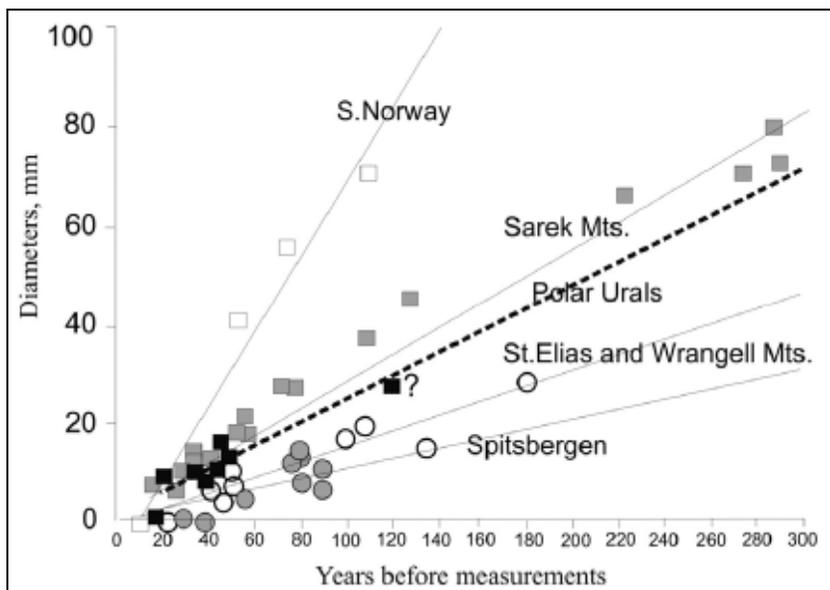


Рис. 48. Региональные кривые скорости роста лишайников в северном полушарии (Solomina и др., 2010).

По результатам измерений максимального диаметра лишайников, на основе принятой скорости их роста, установлен возраст морен ледников (рис. 50-53) и выполнена реконструкция их размеров в пределах датированных морен.

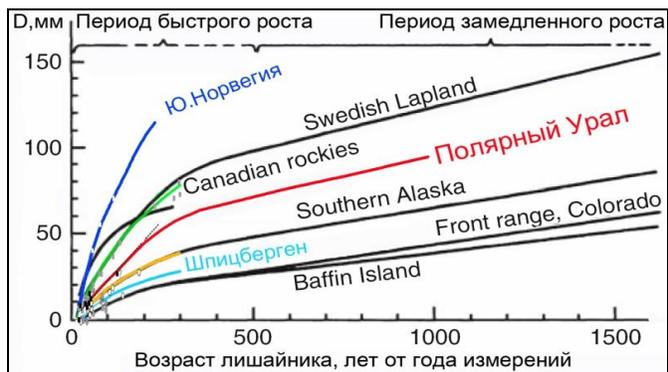


Рис. 49. Региональные кривые скорости роста лишайников (Briner, 2011 с изм.).

Важным подтверждением возраста морен является радиоуглеродная датировка, полученная из озерных отложений между моренами IV и V ледника Берга (Соломина и др., 2001), относящаяся после калибровки к периоду 1440-1660 гг. , на рис. 50 точка отбора отмечена кругом.

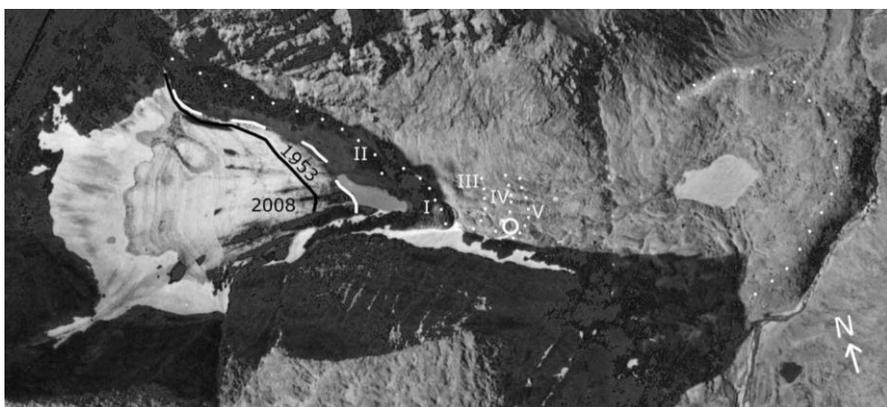


Рис. 50. Ледник Берга на АФС 1953 г. Возраст морен: I – 1880 г., II – 1820 г., III – 1700-е г., IV – 1500-е г., O – образец на  $^{14}\text{C}$ , V – 1000-е гг.

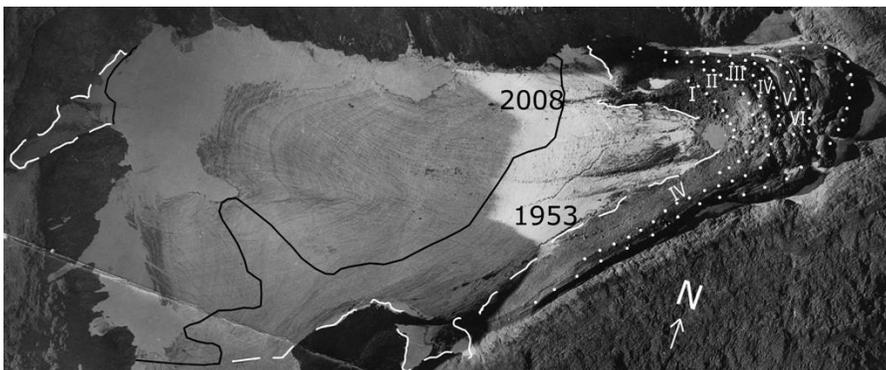


Рис. 51. Ледник ИГАН на АФС 1958 г. Возраст морен: I – 1940-1950 г., II – 1910 г., III – 1890 г., IV – 1820 г., V – 1700-1600-е гг., VI – 1200-е гг.

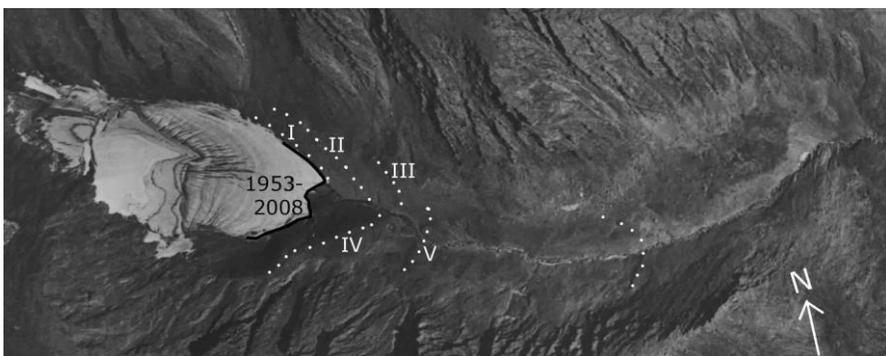


Рис. 52. Ледник Анучина на АФС 1953 г. Возраст морен: I – 1940-1950 г., II – 1910 г., III – 1890 г., IV – 1500-1600-е гг., V – 900-е гг.

По данным гляциогеоморфологических и лихенометрических исследований 2010 г. на ледниках Чернова, Ю. Карского, Щучьего, Тронова, Пальгова определен возраст морен, сформированных в малый ледниковый период. Выделяются периоды формирования морен в начале тысячелетия, около 1500-х и 1600-х гг., а также в XIX веке. В целом анализ колебаний ледников показал их синхронность во времени, однако на поведение ледников оказывают влияние локальные особенности рельефа.

#### 4.4. Гляциогеоморфологические особенности ледников

Современные каровые ледники во многих горных странах занимают древние, как правило, огромные кары, созданные в плейстоцене, о чём свидетельствуют расчеты скоростей выработки каров (Ивановский, 1981). Морфология каров в классическом варианте предполагает течение ледника по оси кара от задней стенки к устью кара. В этом случае в результате течения ледников, экзарации и переноса обломочного материала формируются боковые и конечные морены. Комплекс методов позволяет определять время формирования моренных гряд и получать данные о положении края ледника в прошлом.

Использование классической закономерности для изучения ледников на Полярном Урале осложняется специфическим морфологическим обликом морен. Например, ледники Калесника, Чернова, Обручева и другие, залегая в карах строго восточной экспозиции, обрамлены высокими (до 40 м) моренными валами только вдоль северо-восточных краёв ледников. При этом, если на ледниках Калесника и Щучьем при детальном анализе, морену можно разделить на конечную и выделить незначительные отрезки боковой морены, то для ледников Алешкова, Чернова и Обручева это весьма затруднительно. Возникает вопрос: что считать концом ледника в настоящее время и как установить его положение в прошлом.

Во время стационарного изучения на ледниках измерено движение со скоростями до 5-6 метров в год (Оледенение Урала, 1966). Направление течения фиксируется при анализе АФС по ориентации полосчатости и линий талого стока на ледниках. На снимках видно, что ледники движутся не по оси каров, а от борта к борту, преимущественно с ЮЗ на СВ, что предопределяет положение моренных валов на СВ оконечностях ледников. А.П. Волошина (1988) показывает, что приход солнечной радиации, максимальный на СВ части ледника Обручева, обуславливает повышенное таяние в этой части языка, приводящее к локальному снижению поверхности и увеличению давления льда из

прилегающих областей ледника с гипсометрически более высоким уровнем. Открытость северо-восточных участков характерна и для других ледников ввиду ориентировки каров. Подобный эффект описан и в других ледниковых районах (DeBeer и др., 2009; Coleman и др., 2009).

Полевое обследование морен показало их значительную извилистость и сочленённость в одном валу нескольких гряд, что особенно характерно для моренного вала ледника Обручева (рис. 53). Очевидно, в различные периоды изменялись размер и геологическая работа ледника. Разрастаясь до вершины моренного вала, лед начинал продавливать его вперёд, к северной стенке кара. Экзарация и вынос обломков были направлены в сторону моренного вала, который на этот период становился конечным. Ослабевая, ледник направлялся на восток по оси кара, между южной стенкой и моренным валом, и кроме обломков со стен и ложа кара, в течение льда вовлекались обломки, захваченные со склона морены, которая в это время становилась боковой (Иванов, 2010г). Подобная флуктуация в поведении ледника в результате увеличения снегонакопления зафиксирована инструментальными измерениями в конце 1960-х гг. (Шумский и др., 1978) (рис. 54). Небольшое смещение мертвого льда к северу зафиксировано в верхней части моренного вала свидетельствует о смещении участка морены при разрастании и наступании ледника Обручева. Схожие условия формирования морен на леднике Чернова и др.

Ближайшие к ледникам Обручева и Чернова моренные валы, датируемые малым ледниковым периодом, запруживают и наискосок перегораживают кары, ограничивая пространство для растекания льда. Южные стенки ледниковых каров открыты к метелевым потокам, а западные осложнены лавиносборами, дающими основное питание ледников. Эти условия определяют направление течения льда и геологической деятельности ледников. По комплексам конечно-боковых морен довольно сложно реконструировать время и размах колебаний ледников, поскольку морены обновляются.



Рис. 53. Ледник Обручева, подпруженный конечно-моренным валом. Возраст морен: I – 1940-1950 г., II – 1930 г., III – 1900 г., IV – 1820 гг.

В период активного изучения ледников Урала в 1957-1963 гг., совпавший с потеплением в приполярных широтах, было установлено, что многие ледники уменьшаются и отступают. При более детальном анализе причин деградации оледенения было выявлено, что, кроме климатических причин (увеличение солнечной радиации и температуры воздуха), на таяние ледников влияют и орографические особенности конкретных мест залегания ледников. В.Г. Ходаков (1966) предпринял расчет вклада озер в абразию льда. Л.С. Троицким (Оледенение Урала, 1966) выстроен ряд форм последовательных стадий взаимодействия ледников и прилегающих к ним озер в процессе деградации ледников (рис. 55). Особое внимание в схеме обращалось на то, что интенсивность деградации каровых ледников зависит от степени деградации и формы края ледника.

На рис. 55 показано, что перекрытый мореной язык ледника (а) сохраняется, но на его поверхности может сформироваться наледниковое озеро, что ускорит деградацию; не контактирующий с мореной ледник (б) сокращается постепенно; ледник, контактирующий с озером (в, г), сокращается быстро; в случае равенства высот уровней поверхности ледника и воды (д), при

разгрузке ледника в глубокое озеро, выталкивающая сила воды приводит к откалыванию айсбергов и наиболее быстрой деградации ледника.

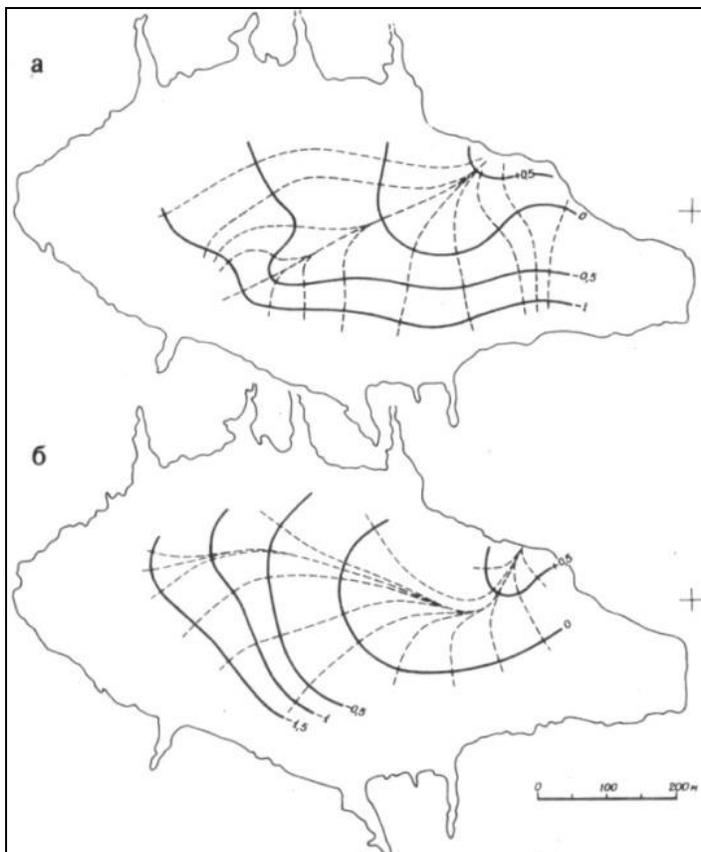


Рис. 54. Поле вертикальной компоненты скорости льда Уз. А – нормальная средняя конфигурация. Б – поле после перестройки в 1968-1970 гг. (Шумский и др. 1972).

Работоспособность приведённой схемы деградации ледников Урала подтверждается и через 50 лет после её создания. Однако, как показало время, эти стадии не обязательно являются последовательным продолжением друг друга и могут заменяться, исключаться, встречаются случаи, не описанные выше. В последние годы наибольшей деградации подвержены именно каровые ледники, и особенно оканчивающиеся в озера. Многие каровые ледники

повторяют контуры конечноморенных валов, созданных ледниками в более холодные эпохи и запруживающие кары. Когда-то эти валы являлись защитой ледников и обеспечивали им более высокое гипсометрическое положение, а соответственно повышенное накопление снега и незначительное таяние в тёплый период. В современных условиях некоторые каровые ледники прошли через стадии, изображенные на рис. 55: а-б-а-в-д, б-в-д, другие через а-б, а-в или даже г-а.

В ходе исследований 2010 г. установлено, что ледник МГУ находится в крайне угнетенном состоянии. Кар ледника, который еще в 1960-е гг. был занят льдом, теперь полностью заполнен озером, и ледник, пройдя через ряд стадий, деградирует по типу (д), (рис. 56).

Ледник Щучий, долгое время сохранявшийся в стадии (а), в последние годы перешёл в стадию (в), а в ближайшие годы, при сохранении современных гляциоклиматических условий, перейдёт в стадию (д) и начнет

ускоренно разрушаться. Ледник Ю. Карский из стадии (б) перешёл в стадию (а) и лишь наличие бокового понижения слева, в месте бывшего контакта с ледником С. Карским, не даёт возможности

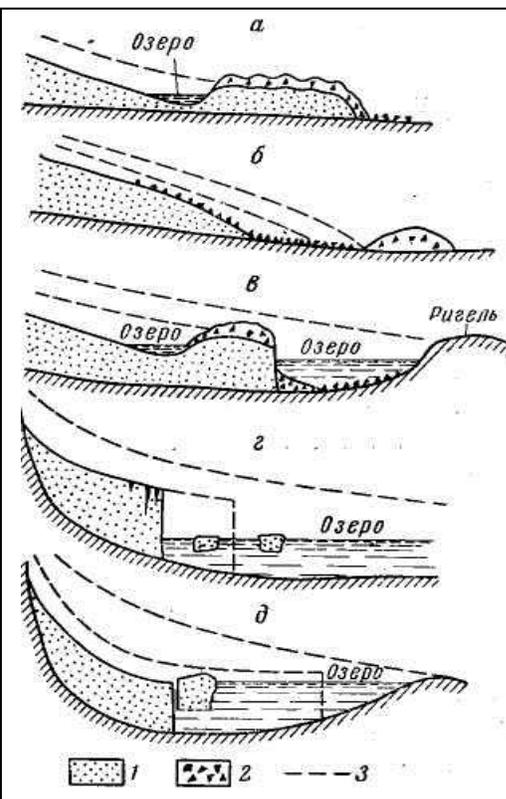


Рис.55. Стадии взаимодействия отступающего ледника и приледникового озера при деградации ледников Урала. 1 - ледник, 2 - моренные отложения, 3 - прежний уровень поверхности ледника (Оледенение, 1966).

ускорения деградации по типу (в). Ледник Калесника из стадии (б) перешёл в стадию (в) и возможно дальнейшее ускорение деградации по типу (д). Ледник ИГАН перестал контактировать с озером и перешел в стадию (б).



Рис. 56. Кар ледника МГУ занят озером, у тыловой стенки лежат остатки ледника.  
Фото М.Н. Иванов, 2010.

Кроме описанных случаев, на ряде ледников наблюдается отчленение озера от ледника в связи с вытаяванием коренного ложа, возвышающегося над урезом озера и переход от стадии (г) в новую стадию, близкую к (б), но отличающуюся от неё (Иванов, 2010в). Новая стадия (е) (рис. 57) связана с переходом ледника в новое гидродинамическое состояние в связи с отрывом от озера и, зачастую, в условиях смены морфологического типа. Например, ледник Чернова, ранее оканчивавшийся в озеро, на 2010 г. не контактирует с озером и морфологически становится всё более похож на присклоновый ледник, хотя примыкает к стенкам кара более чем на  $180^\circ$  по дуге. Отрыв ледника от озера должен вызвать

замедление скорости течения льда, исключить откол айсбергов и может способствовать стационариванию ледника в современных климатических условиях. Ледник Шумского, уже много десятилетий оканчивающийся в озере, постепенно сокращается по типу (г), однако намечается переход в новый тип (е). Ледник Скрытный из стадии (г) также, возможно, перейдет в (е).

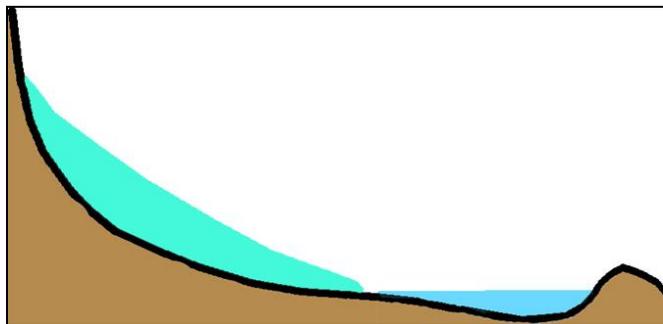


Рис. 57. Эволюционная форма ледников Урала в условиях отчленения от озера при переход в карово-присклоновый тип.

Каровые озёра и ледники на Урале постоянно взаимодействуют, что оказывает значительное влияние на деградацию ледников. Вода в озёрах Полярного Урала, согласно Н.Я Мироновой (1964) и нашим измерениям в летний период, редко прогревается до температуры более  $8^{\circ}\text{C}$ , а в приледниковых озёрах в условиях непосредственного контакта со льдом температура воды круглогодично близка к  $0^{\circ}\text{C}$ . Тем не менее, даже при незначительной разнице в температуре льда и воды, роль термоабразии льда довольно высока. Взаимодействие воды и льда внутри ледников происходит постоянно и лишь с началом преобладания «силы воды» над «силой льда» включается механизм ускоренной деградации ледников. Наряду с ведущими климатическими факторами деградации большинства ледников, именно воздействие озёрной воды на некоторые ледники в ряде случаев привело к практически полному сокращению некоторых ледников. Абсолютные потери льда, обусловленные температурой воздуха и солнечной радиацией и таянием под воздействием озёрной воды, вносят практически

равносильный вклад для ледника МГУ и других ледников. В результате обнаружена и исследована следующая стадия деградации и выявлена смена гидродинамического режима ледников Полярного Урала. Установлено, что некоторые ледники в будущем могут начать ускоренно разрушаться, другие, наоборот, стационарироваться.

С приледниковыми озёрами в условиях отступления ледников и высвобождения рыхлого обломочного материала связана проблема размыва моренных отложений и схода гляциальных селей. На ледниках Полярного Урала эта тема остаётся практически не изученной в силу отсутствия исследований и малой населённости. Однако в литературе описаны случаи схода водоснежных потоков и исключать возможность схода гляциальных селей нельзя. Для предстоящих изысканий по проекту «Урал Промышленный – Урал Полярный» эта задача должна стать одной из приоритетных.

На основе анализа полученных данных по изменениям геометрических параметров ледников можно сделать некоторые выводы. На сегодняшний день вычисленные площади ледников по данным фотогеодезического мониторинга, проводившегося в 1957-1981 гг. практически ежегодно на ледниках Обручева, ИГАН, и периодически на других ледниках, необходимо признать малоинформативными для реконструкции баланса массы ледников. Крупномасштабных топографических планов, кроме 1963 г., не сохранилось, а рассчитанная и опубликованная по ним площадь покрывает лишь ледник ИГАН Северный и не охватывает присклоновую часть ледника, которую включали в измерение баланса массы. Таким образом, ежегодные измерения баланса массы и высоты поверхности ледника не могут быть сведены в единую систему для пересчета баланса массы ледника на заданную площадь. Это ограничивает возможность реконструкции в годы после натурных наблюдений, т.к. для сохранения зависимостей компонентов баланса и метеоэлементов в площадь ледника приходится включать пространства, где лед уже стаял и в массообмене ледника, соответственно, участия не принимает.

Установлено, что результаты наблюдений за балансом массы ледников необходимо представлять не только в виде карт и

итоговых цифровых значений аккумуляции, абляции и баланса массы на леднике в целом, но также и в виде конкретных значений перечисленных величин в точках измерений. Это делает возможным использование полученных данных в будущем для сравнений и установления связей с метеоэлементами для ледниковой поверхности заданной площади. При проведении DGPS-съемки необходимо оконтуривать моренные валы, производить измерения высоты поверхности не только по границе и на поверхности ледника, но также и на участках поверхности ложа, освободившейся от льда за период наблюдений, что позволит увеличить точность обработки данных.

Имеющиеся материалы позволили установить размеры ледников на нескольких временных срезах, выполнить оценку понижения поверхности ледника ИГАН с 1963 по 2008 г. (в среднем 16,5 м) и уменьшения объема ледника (134 тыс. м<sup>3</sup>, что может составлять до трети всего объема льда в леднике). Объем ледника Обручева за последние 30 лет сократился вдвое, что характерно для большинства каровых ледников. В результате изучения изменений геометрических параметров ледников установлено, что за последние 50 лет, с 1963 г. площадь оледенения сократилась на 25 %.

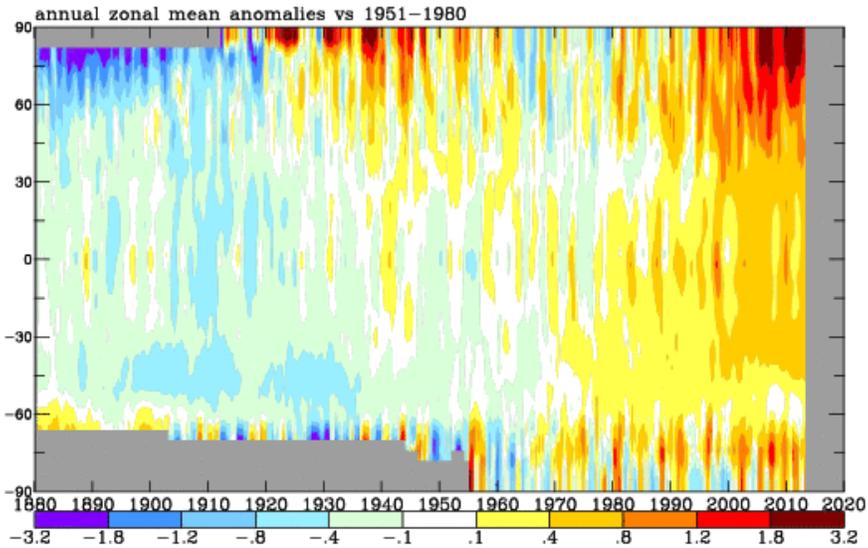


Рис. 1. Среднегодовые аномалии температуры воздуха на Земле по отношению к 1951-1980 гг. наиболее изменчивы в высоких широтах ([www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)).



Рис.2. Полярный Урал ([www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)).

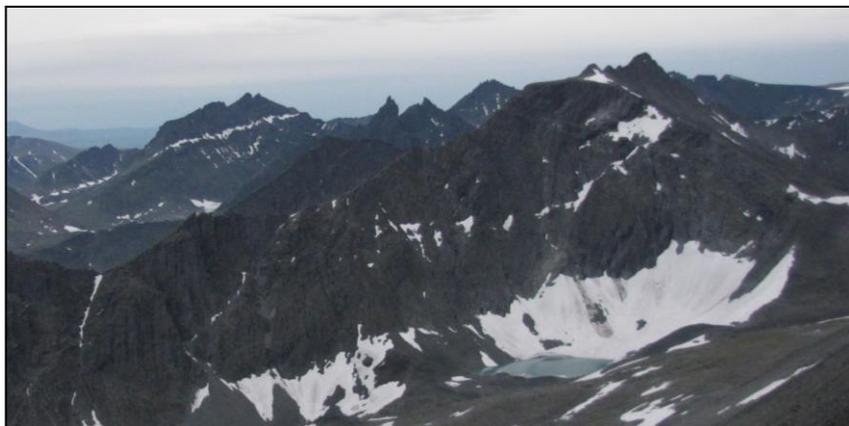


Рис. 3. Альпийский рельеф западного макросклона Полярного Урала. В каре ледник Шумского. Фото М.Н. Иванов, 2010.



Рис. 4. Сглаженный рельеф восточного макросклона, вид от верховьев р.М.Уса на восток. В центре ледник Прилепыш. Фото М.Н. Иванов, 2010.

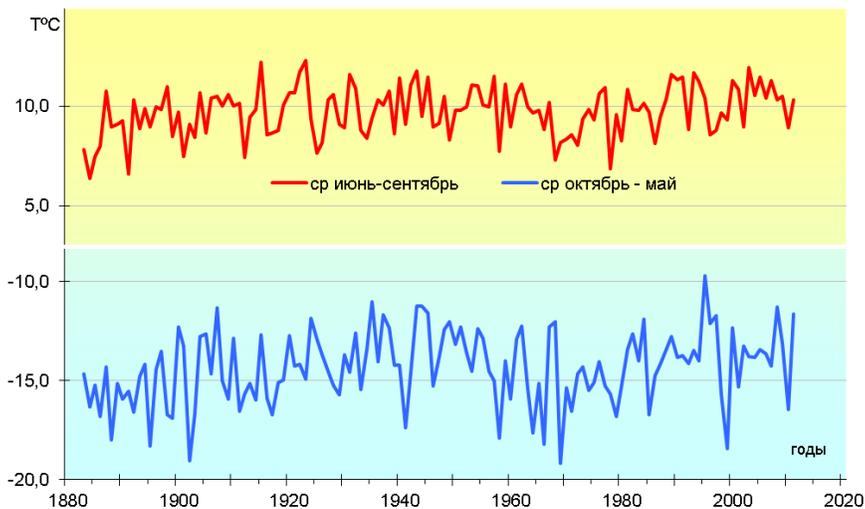


Рис. 7. Среднесезонная температура воздуха по данным м/ст Салехард.

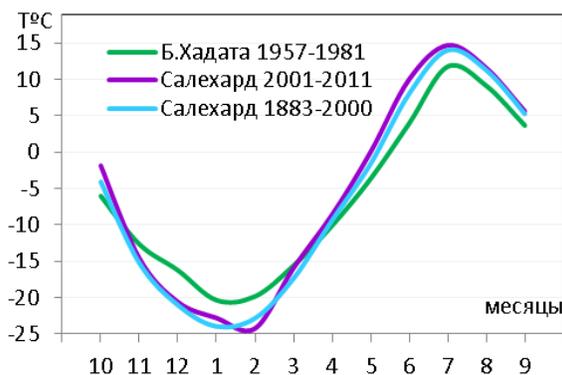


Рис. 8. Среднемесячная температура воздуха.

Рис. 9. Аномалии среднемесячной температуры воздуха в 2001-2011 гг. по отношению к 1883-2000 гг. по данным м/ст в Салехарде и к 1946-2000 гг. по данным м/ст в Воркуте.



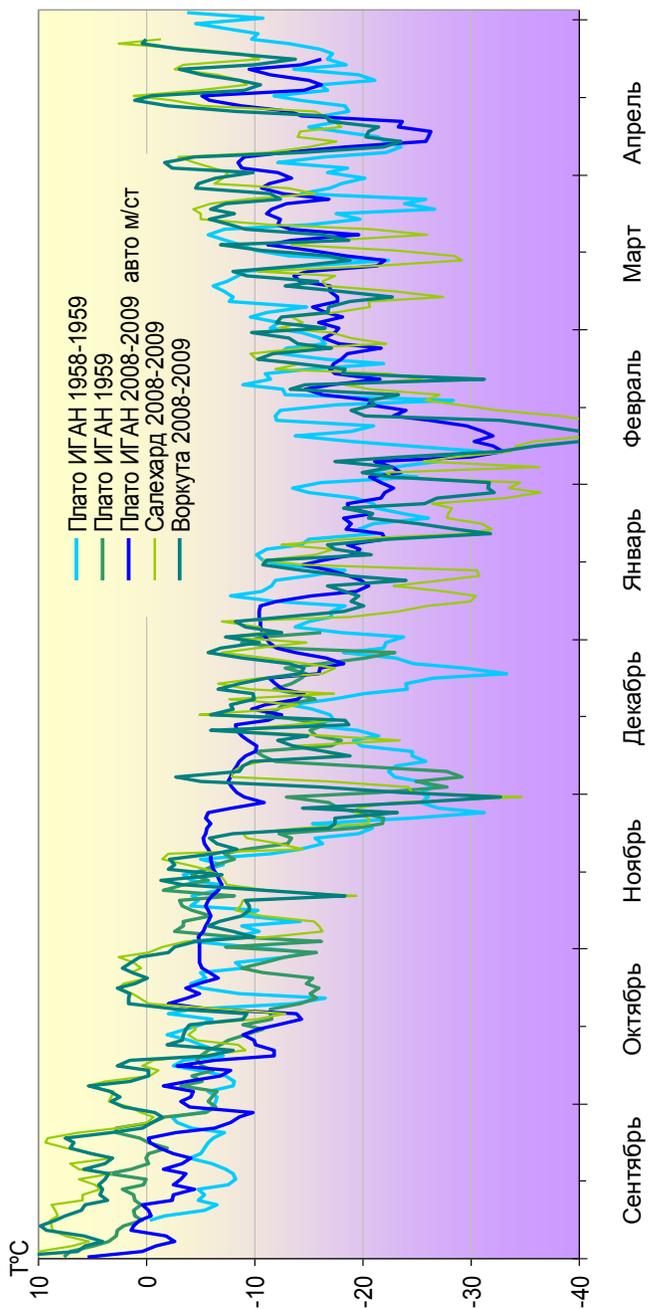


Рис. 10. Среднесуточная температуры воздуха на м/ст в холодный период.

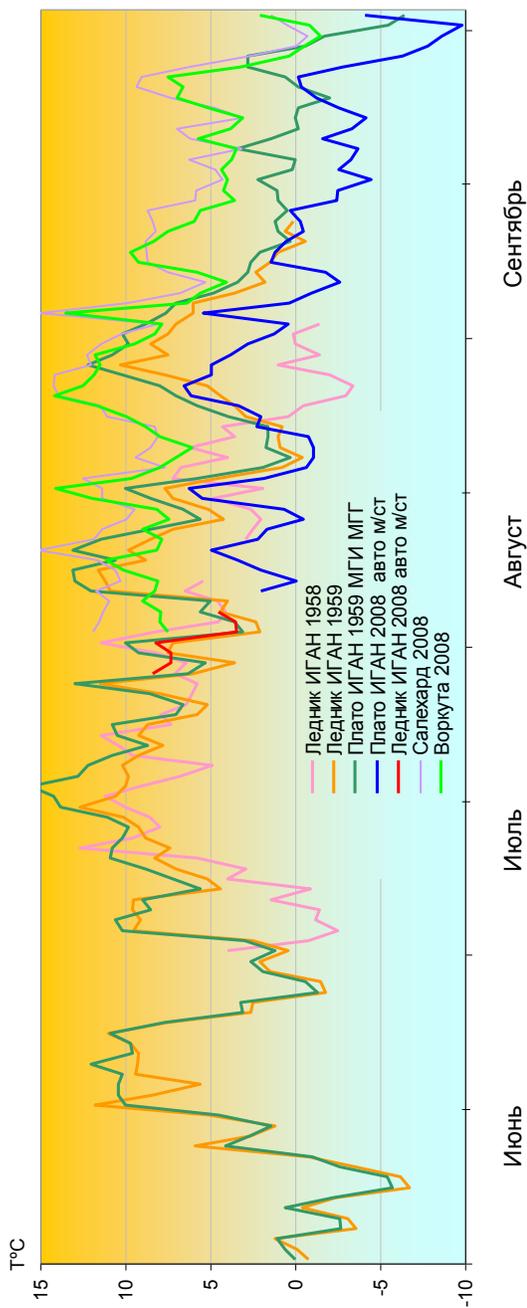


Рис. 11. Среднесуточная температуры воздуха на м/ст в теплый период.

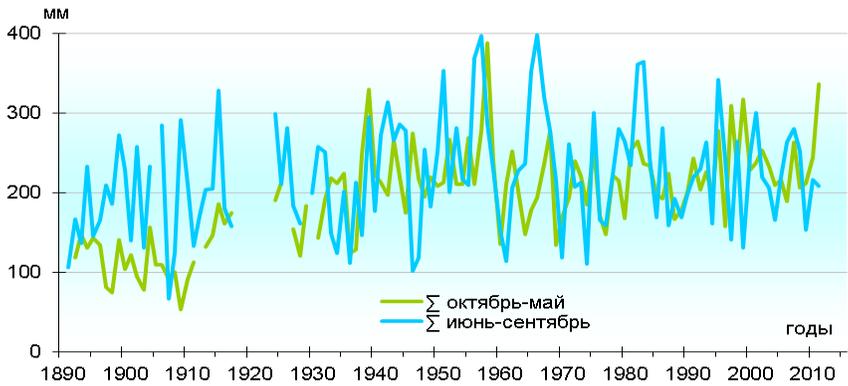


Рис. 12. Сезонные суммы осадков на м/ст Салехард.

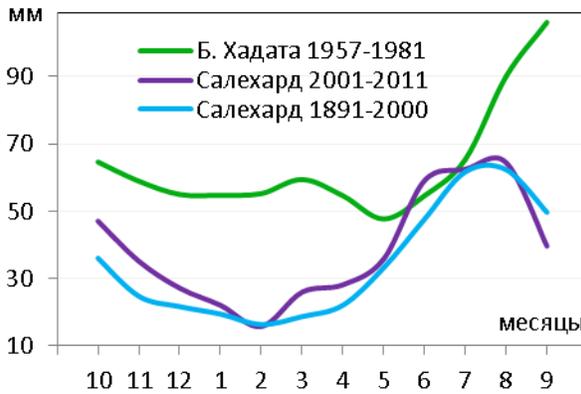


Рис. 13. Среднемесячные осадки..

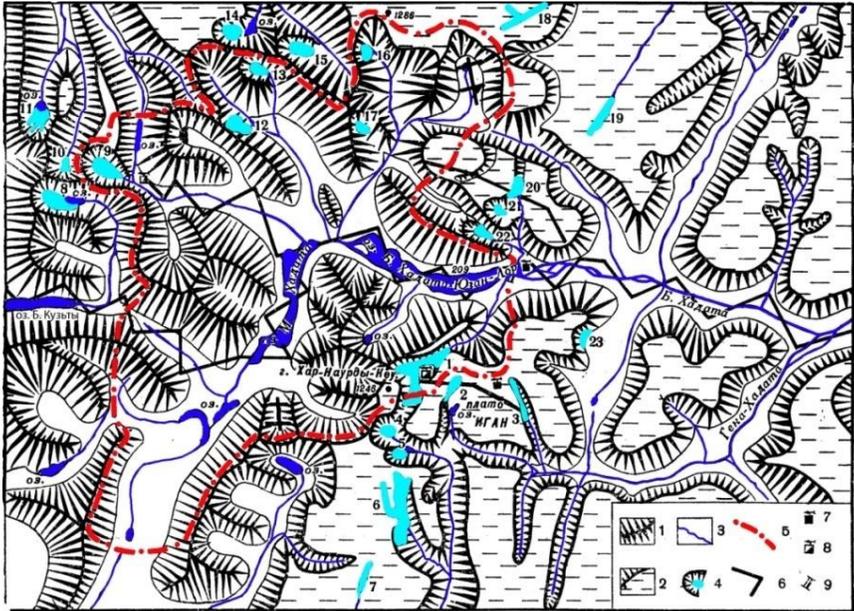


Рис. 18. Схема оледенения района озера Б. Хадата-Юган-Лор (Оледенение Урала, 1966 с изм.). 1 - гребни хребтов, 2 - плато, 3 - днища долин и реки, 4 - кары и ледники, 5 - граница опытного бассейна верховья реки Б. Хадата, 6 - основные маршруты снеговосъемок, 7 - круглогодичные метеостанции, 8 - сезонные метеостанции и посты, 9 - гидростворы. Ледники: 1 - ИГАН, 2 - Медвежий, 3 - Придорожный, 4 - Баклунда, 5 - Кулика, 6 - Б. Усинский, 7 - Ленточный, 8 - Чернова, 9 - Обручева, 10 - Лепехина, 11 - Ковальского, 12 - Шумского, 13 - Авсюка, 14 - Калесника, 15 - Хабакова, 16 - Скрытый, 17 - Авгевича, 18 - Рогатый, 19 - М. Усинский, 20 - Олений, 21 - Станционный, 22 - Анучина, 23 - Фотогеодезистов.

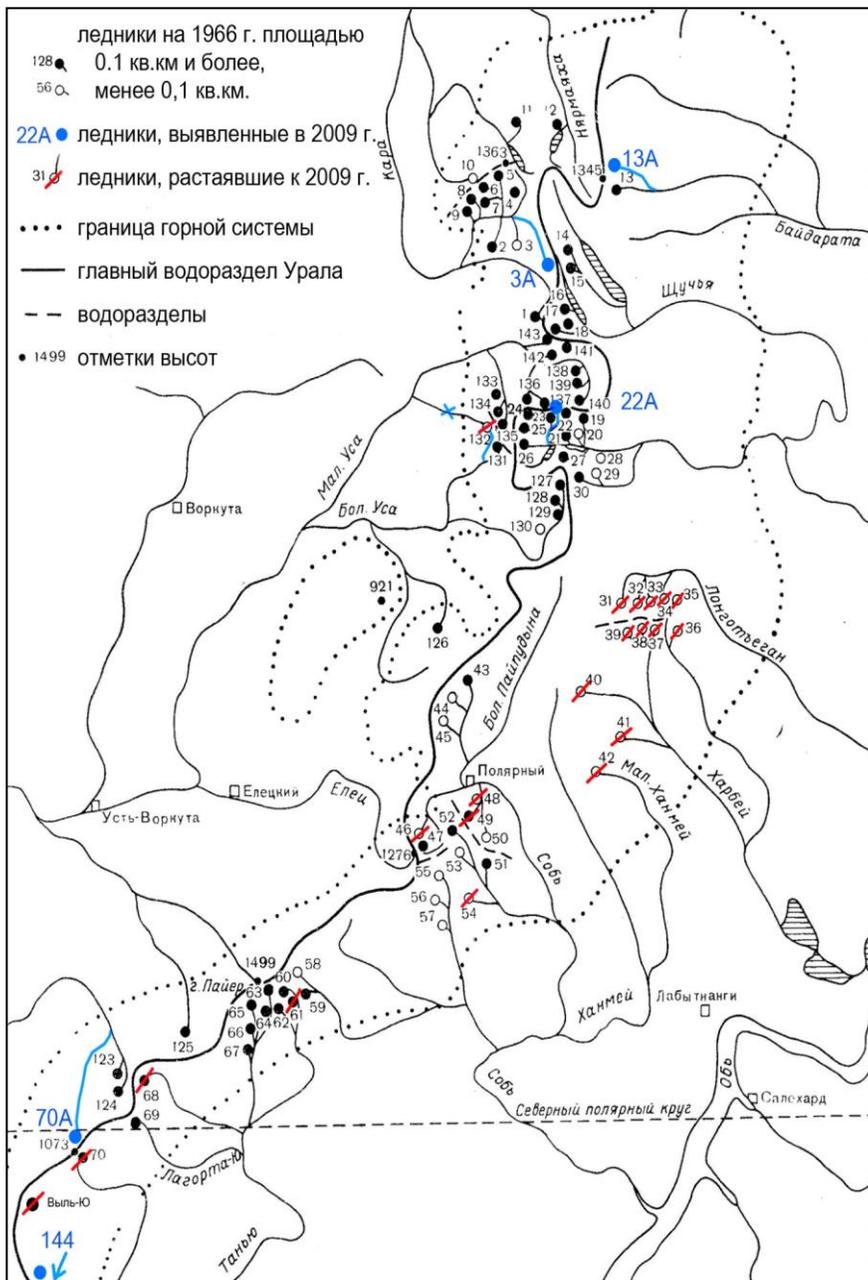


Рис. 23 Ледники на схеме Полярного Урала (Каталог ледников, 1966 с изм.),  
 названия ледников приведены в приложении 2.

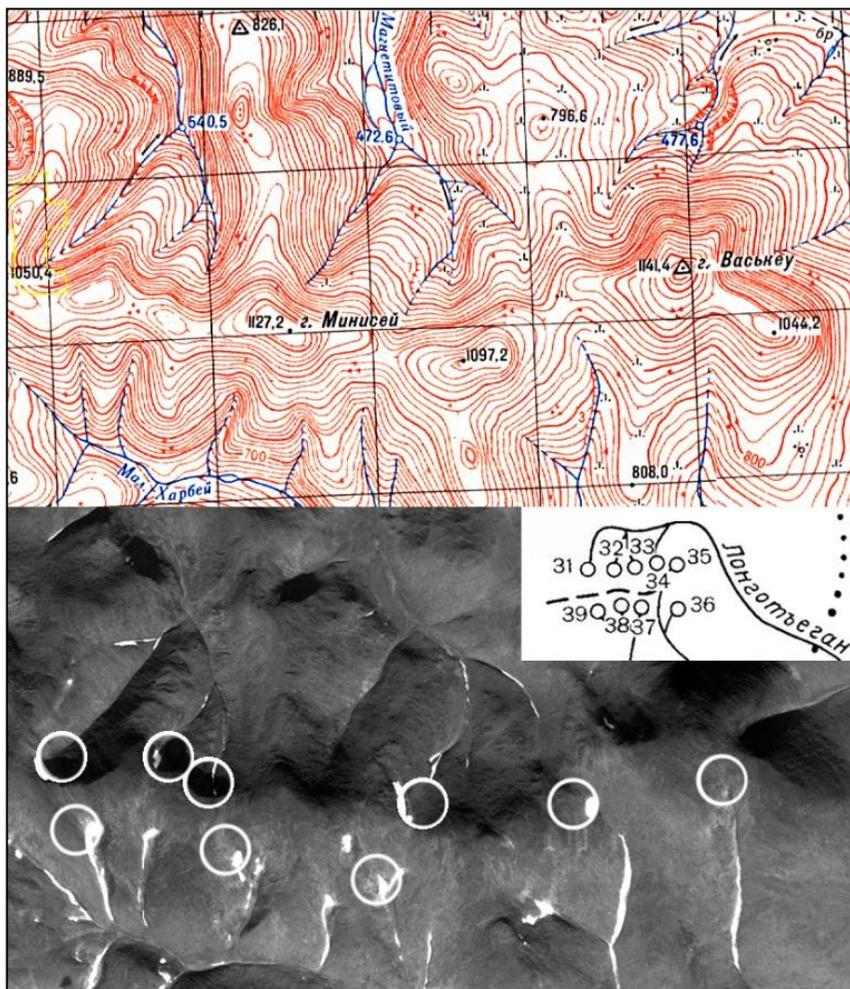


Рис. 26. На снимке SPOT5 2009 г. отмечено исчезновение ледников в районе г. Минисей (хр. Харбей-Хой).

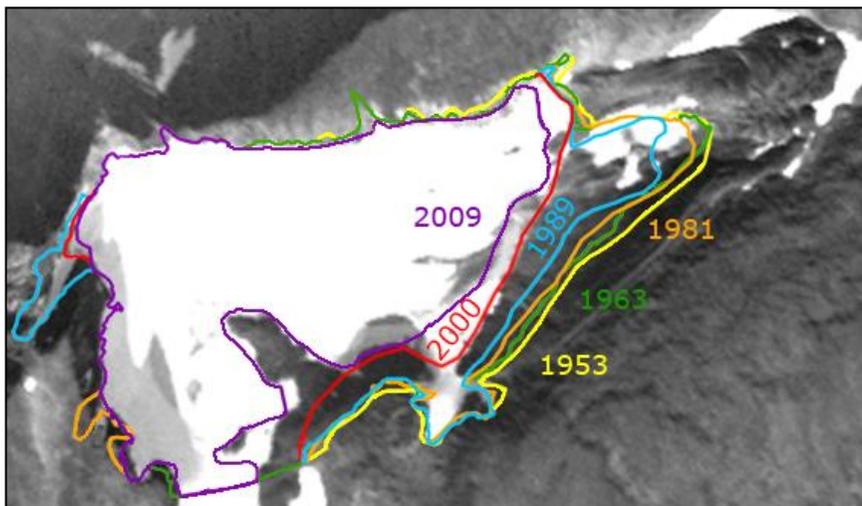


Рис. 30. Границы ледника ИГАН на фрагменте космического снимка SPOT 5 2009 г.

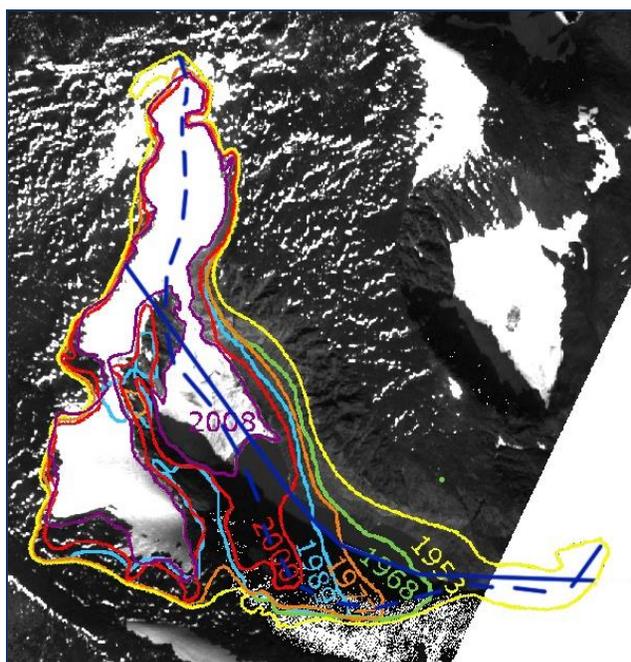


Рис. 32. Границы ледника МГУ на фрагменте космического снимка Cartosat (IRS- P5) 2008 г .

Рис. 31. Ледник ИГАН. Фотографии: 1953 г. – Л.Д. Долгушин; 1974 г. – О.П. Чижов; 1997 г. – Ю. Загоруй; 2008 г. – А.Я. Муравьев.



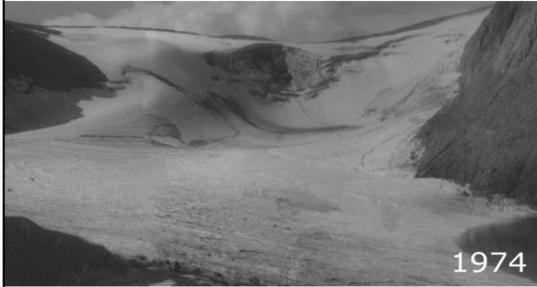


Рис. 33. Ледник МГУ.  
Фотографии: 1958 г. – А.О.  
Кеммирих; 1974 – В.Г.  
Ходаков; 1991 – П.А.  
Рундеквист; 2010 – М.Н.  
Иванов.

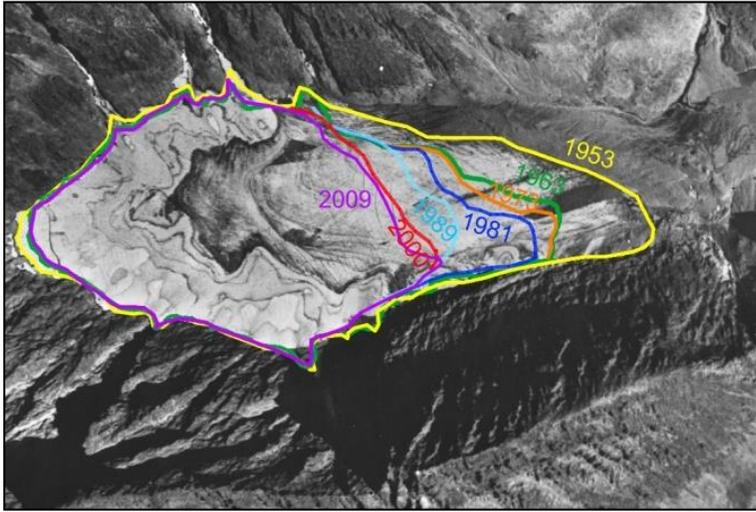


Рис.34. Границы ледника Обручева на АФС 1953 г.

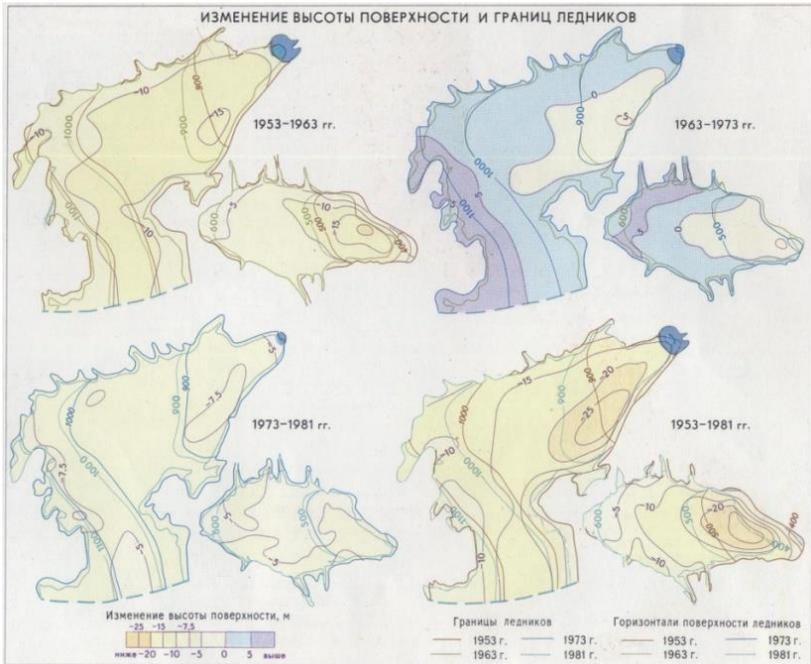


Рис. 40. Изменение высоты поверхности и границ ледника ИГАН в 1963-1981 гг. (АСЛРМ, 1997).

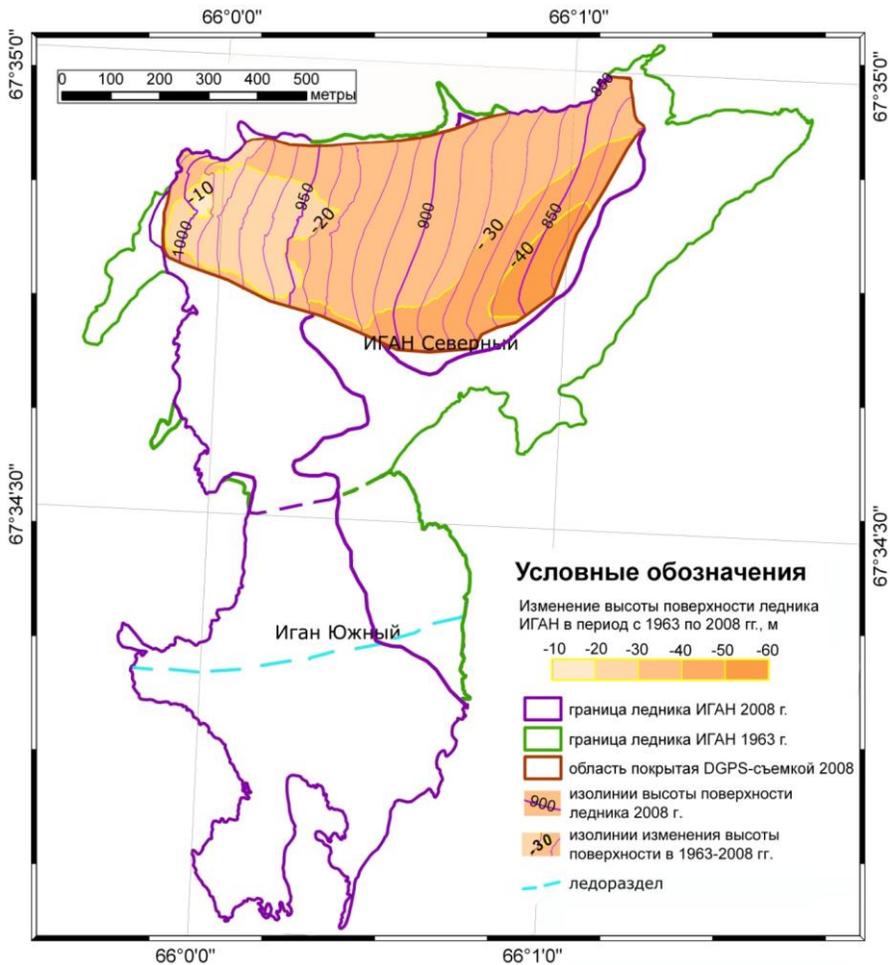


Рис. 42. Карта изменения высоты поверхности и сокращения площади ледника ИГАН в период 1963-2008 г. Составил автор.

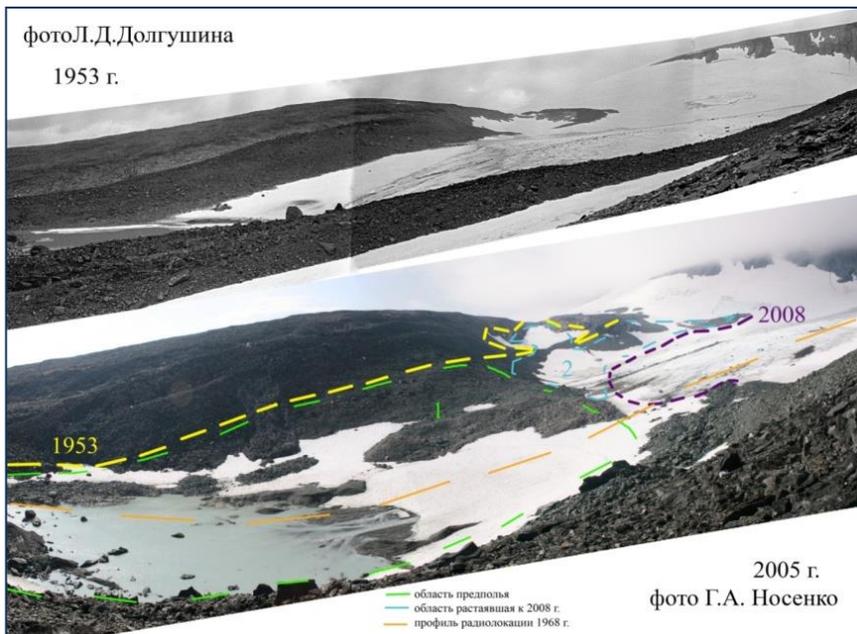


Рис. 43. Ледник ИГАН в 1953 и в 2005 гг. Фотоснимок 2005 г. сделан с более низкой точки и ближе к леднику.

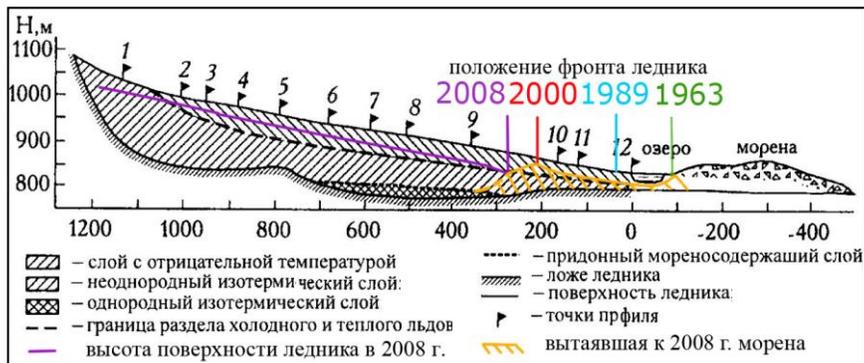


Рис. 44. Строение ледника ИГАН по данным наземного радиозондирования 1968 г. с 440 МГц локатором РВ-10 (Лучининов, Мачерет, 1971; с изменениями и дополнениями автора).

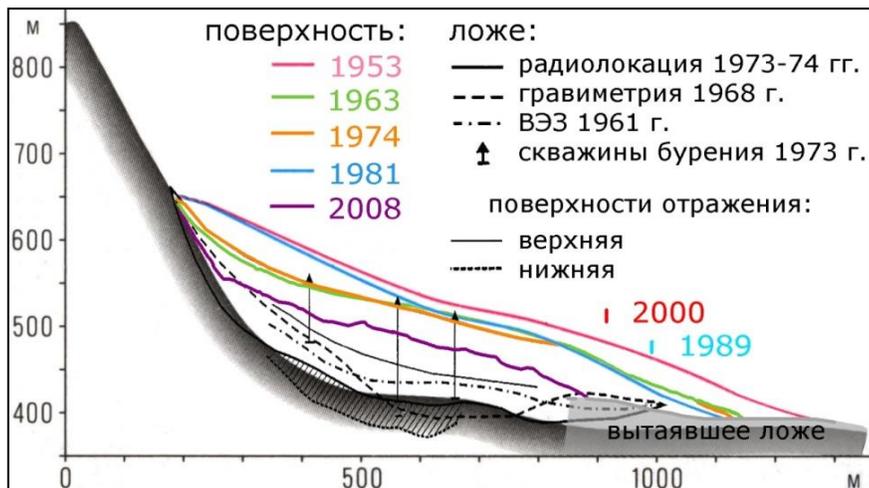


Рис. 45. Профили поверхности и подледникового ложа ледника Обручева (по данным НСС, DGPS съемки, ВЭЗ, гравиметрии и радиолокации).

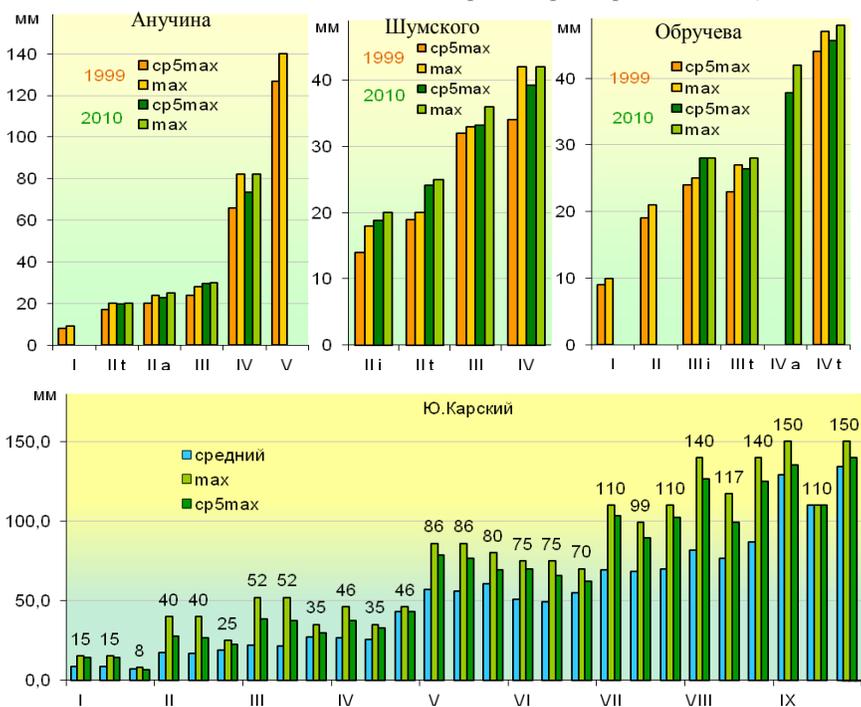


Рис. 47. Диаметр лишайников *Rhizocarpon geographicum* на моренах ледников Анучина, Шумского и Обручева по измерениям 1999 г. О.Н. Соломиной с соавт. (2001) и автора в 2010 г. и на Ю. Карском в 2010 г.

## 5. Баланс массы ледников Полярного Урала

Оценка изменений баланса массы ледников проводится на основе измеренных или реконструированных данных. Отправной точкой являются зафиксированные величины составляющих массообмена ледника и/или данные о высоте поверхности и положении фронта ледника на определенный момент времени. В период 1957-1981 гг. масс-балансовыми наблюдениями на Урале были охвачены несколько ледников, а основные сведения собраны по ледникам Обручева и ИГАН.

### 5.1. Измеренный баланс массы ледников ИГАН и Обручева в 1957–1981 гг.

Баланс массы большинства каровых ледников Полярного Урала в 1958-1977 гг. был отрицательным (АСЛРМ, 1997). Лишь некоторые небольшие ледники (Кулика, Баклунда, Лепехина и др.) в 1959, 1960 и 1962 гг. имели положительный баланс (Оледенение Урала, 1966). Существенно иная картина наблюдалась на присклоновых ледниках. Только в 1958 г. баланс массы многих присклоновых ледников было отрицательным. В период с 1959 по 1963 гг. баланс большинства присклоновых ледников был положительным (Оледенение Урала, 1966). Основные измеренные в 1957–1981 гг. характеристики баланса массы приведены на рис. 58. За все 24 сезона наблюдений среднегодовой баланс массы ледника ИГАН был отрицательным и равным  $-40,0 \text{ г/см}^2$ . Скорость движения льда за все годы наблюдений практически не менялась и имела наибольшие значения в верхней части языка – от 5 до 6 м/год.

Аккумуляция–абляция на высоте границы питания (ELA) на ледниках составляет примерно  $200 \text{ г/см}^3 \cdot \text{год}$ . ELA в среднем 800 м. Вертикальный градиент внешнего массообмена  $22 \text{ г/см}^2 \cdot \text{год}$  на 1 м высоты. Зоны льдообразования: теплая фирновая, фирново-ледяная, ледяная (АСЛРМ, 1997). Контрастность метеорологических условий в зимнее и летнее время, связанная с географическим

положением района, обуславливает большие колебания от года к году компонентов баланса массы ледников Полярного Урала и его итоговой величины (рис. 58).

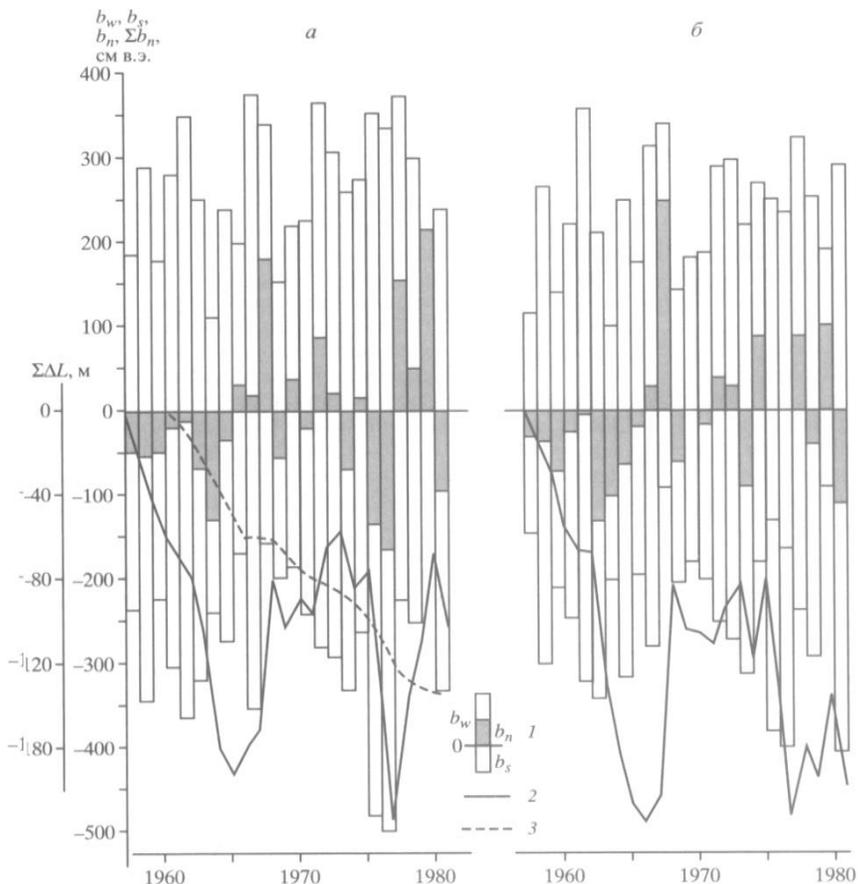


Рис. 58. Колебания баланса массы ледников Обручева (а) и ИГАН (б) с 1957 по 1981 г. 1 - годовой удельный баланс массы  $b_n$  и его составляющие:  $b_w$  - зимний баланс,  $b_s$  - летний баланс; 2 - кумулятивный баланс массы  $\Sigma b_n$ ; 3 - кумулятивное изменение длины  $\Sigma \Delta L$  (Оледенение..., 2006).

Характерная особенность режима Полярно-Уральских ледников заключается в большой межгодовой изменчивости баланса массы и его составляющих. При этом высота границы питания может уходить выше ледника (1964, 1977 гг. и др.) или не подниматься выше конца языка (1968 г.). На рис. 59 представлены

схемы распределения вещественного баланса опорных для Полярного Урала ледников ИГАН и Обручева. Измеренные различными способами значения баланса массы ледника ИГАН приведены в табл. 11, 12. Нами выявлено, что значения, выделенные цветом, содержат меньше расчетных величин и являются верными.

Ежегодные измерения баланса массы отражают приход и расход вещества на известной площади ледника. Итогом балансовых измерений являются средневзвешенные по площади ледника величины аккумуляции, абляции и их разности в слое воды (в.э.), которые строго привязаны к площади, на которую они рассчитаны, на конкретный год. Результаты измерения баланса массы отображают на карте в виде абсолютной высоты поверхности и/или изолиниями ее снижения в метрах (рис. 59), что наглядно, но не информативно. В редких случаях строят карты с указанием точек с измеренными величинами изменения высоты поверхности за каждый балансовый год или за несколько лет.

Такие карты представляют наибольшую ценность для последующих нерегулярных (не ежегодных) измерений, т.к. позволяет пересчитать баланс массы, измеренный в предыдущие годы не на фактическую, а на заданную площадь при изменении площади ледника. Это становится актуально в условиях сокращения площади ледников, т.к. реконструкция опирается на измеренные компоненты баланса, рассчитанные на фактическую площадь на год измерений, а восстановление компонентов баланса на освободившуюся от льда поверхность приведет к ошибке или вообще станет невозможным.

## **5.2. Анализ имеющихся реконструкций баланса массы ледников**

В монографии «Оледенение Урала» была отмечена тесная связь отдельных составляющих баланса массы этих ледников с конкретными климатическими параметрами и сделаны первые попытки реконструкции баланса массы ледников за период, предшествующий инструментальным наблюдениям. Реконструкции проводились на основе рядов ежегодных масс-балансовых

наблюдений на ледниках Обручева и ИГАН за период с 1957 по 1981 г. и рядов метеоэлементов, измеренных на м/ст Б. Хадата в 1957–1962 гг., скоррелированных и реконструированных по окружающим метеостанциям.

На рис. 60 представлена первая опубликованная реконструкция баланса массы ледника ИГАН, выполненная В.Н. Адаменко (1963) по дендрохронологическим и метеорологическим данным. По дендрохронологическим данным на основе связи с температурой воздуха восстановлены радиационные индексы сухости, а по ним аккумуляция и абляция. Даже по внешнему виду кривой реконструкция не достаточно точна на период 1710-1730 гг. и характеризуется как приблизительная. Конечно, опыт В.Н. Адаменко полезен, так как использование дендрохронологических данных позволяет продливать ряды метеонаблюдений и использовать их для реконструкции баланса массы ледников.

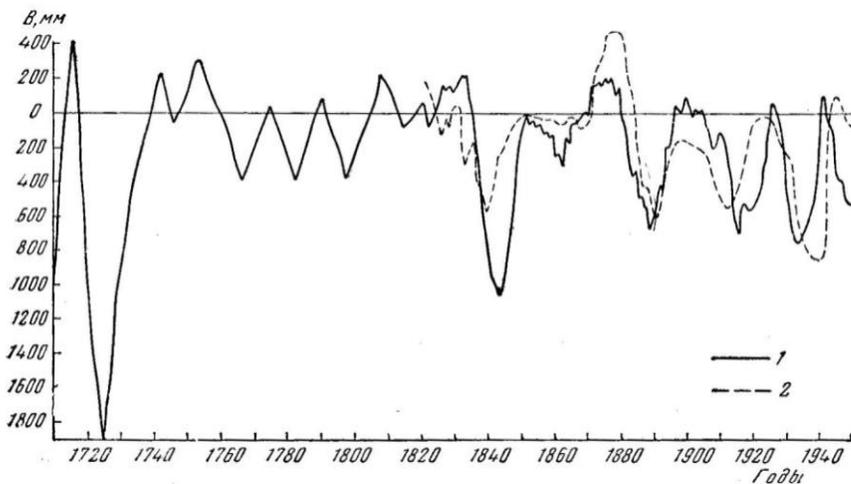


Рис. 60. Вещественный баланс (В) ледника ИГАН (мм слоя воды), по дендрохронологическим (1) и метеорологическим (2) данным (скользящие средние десятилетние) (Адаменко, 1963).

В.Г. Ходаков выполнил реконструкцию вещественного баланса ледников ИГАН и Обручева с 1818 по 1963 гг. (рис. 61). Для

определения вещественного баланса ледников в бассейне р. Б. Хадаты за годы, предшествовавшие периоду непосредственных измерений (1957-1962 гг.), была установлена связь составляющих баланса с метеорологическими элементами ближайших к очагу оледенения метеостанций Усть-Воркута и Воркута АМСГ (с 1926 г.). Расстояние от этих станций до ледников ИГАН и Обручева составляет 80 и 100 км, соответственно. В результате сравнения среднемесячных температур воздуха по метеостанциям Воркута и Воркута АМСГ со среднемесячными температурами воздуха по метеостанции Б. Хадата между ними была обнаружена линейная зависимость. В свою очередь, суммарная абляция на ледниках ИГАН и Обручева оказалась весьма тесно связанной с суммой среднемесячных температур за июнь, июль и август по м/ст. Б. Хадата. На основе этих связей восстановлена суммарная температура на м/ст Б. Хадата для холодного и теплого сезонов и реконструирован баланс массы (Оледенение Урала, 1966). В указанной публикации не указано как выполнена реконструкция на период, когда наблюдения в Сыктывкаре не велись (пунктирная линия). Наложение на «Хадатинскую» кривую «Сыктывкарских» значений за тот же период, но по своей шкале, вместо сходства демонстрирует различия, как и кривая баланса, осредненного вручную и на компьютере.

Кривая годового баланса представлена лишь в виде десятилетних сумм сальдо, хотя в таблице значений приведены реконструированные значения аккумуляции, абляции и баланса массы ледника ИГАН за период 1818–1963 гг. (Оледенение Урала, 1966). Эта кривая (рис. 62) опубликована позже (Groswald, Kotlyakov, 1969; Гросвальд, Котляков, 1970).

Реконструированный баланс за 1957–1963 гг. иногда в 2 раза отличается от инструментальных значений аналогичных величин, измеренных на леднике. Кривые баланса массы ледника ИГАН, основанные на реконструкции В.Г. Ходакова также приводятся О.П. Чижовым (1966, 1976), М.Б. Дюргеровым и В.В. Поповниным (1981), О.Н. Соломиной (1999) и др. По оценке О.П. Чижова (1976) в 1820–1970 гг. на леднике ИГАН преобладали годы с отрицательным

балансом, однако в 1820–х и 1880–х гг. наблюдался положительный баланс, а в 1850–1880 гг. он был близким к нулевому, однако эти пики не подтверждаются (Иванов, 2009).

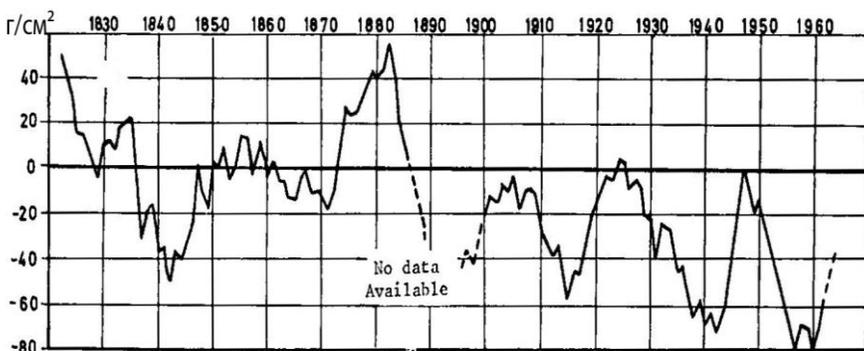


Рис. 62. Баланс массы ледника ИГАН (Groswald, Kotlyakov, 1969).

Ю.М. Кононов и М.Д. Ананичева реконструировали баланс массы ледников ИГАН и Обручева за период всего XX века (Оледенение..., 2006) по данным м/ст Б. Хадата, Воркута и Салехард, основываясь на уравнениях регрессии (рис. 63).

Реконструкция Кононова-Ананичевой существенно отличается от выполненной В.Г. Ходаковым и от реально измеренных величин до 300 мм в.э. Наибольшие расхождения приходятся на начало XX в., когда наблюдалось потепление Арктики, а для последующего периода степень сходства двух реконструкций заметно возрастает, но измеренных величин баланса они не отражают. Причина неточности реконструкции заключается в низком коэффициенте корреляции ( $r=0,35$ ) реконструируемой аккумуляции по зимним осадкам на м/ст Салехард, что вполне объяснимо барьерным эффектом Уральских гор, преобладанием антициклонального режима погоды в Зауралье и недоучетом метелево-лавинного перераспределения снега.

Этими же авторами выполнена наиболее продолжительная реконструкция баланса массы ледника ИГАН на основе дендрохронологических данных (рис. 64.)

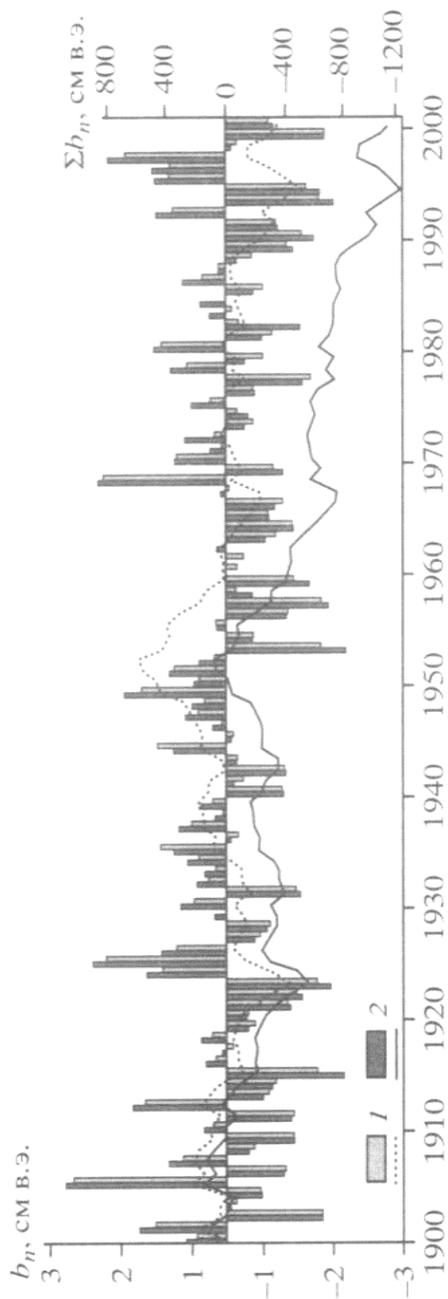


Рис. 63. Годовой и кумулятивный баланс массы ледников Обручева-1 и ИГАН-2 (Оледенение С. И Ц. Евр., 2006).

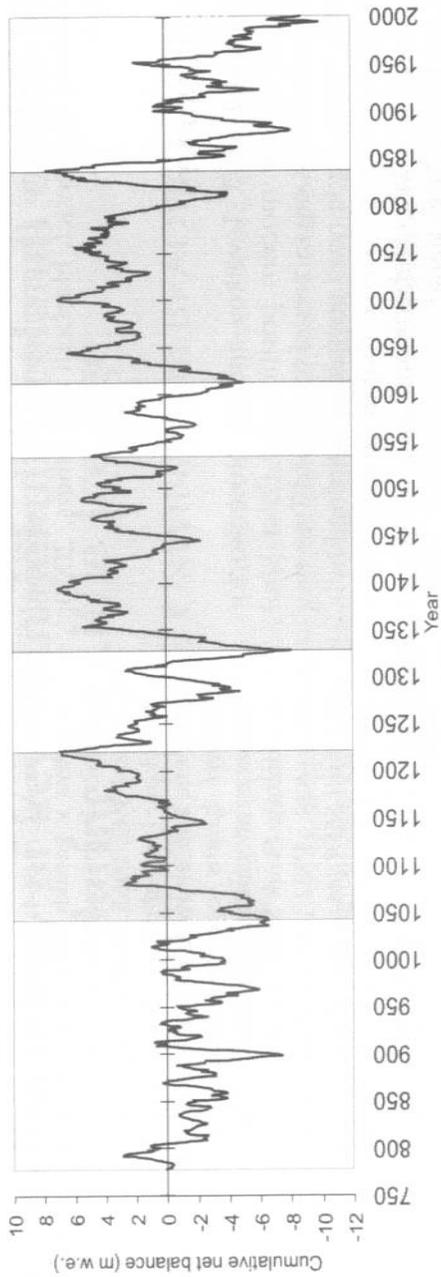


Рис. 64. Осредненный баланс массы ледников ИГАН и Обручева (Копонов и др., 2005).

Таблица 13. Сравнение реконструкций баланса массы ледн. ИГАН

Период реконструкции, авторы	Использованный период наблюдений за балансом ледника, для корреляции	Реконструкция на основе корреляций			Используемые м/ст	
		Акк	Абл	Т°	м/ст.	за период
1818–1963 (Ходаков, 1966)	1957/1958–1962/1963	$\sum \text{Акк ИГАН}$ с $\sum \text{Т}^\circ$ . Б.Хад (окт-май)	$\sum \text{Абл ИГАН}$ с $\sum \text{Т}^\circ \text{л Б.Хад}$ (июнь-авг)	$\text{Т}^\circ_{\text{ср.мес.}}$ Б.Хад с $\text{Т}^\circ_{\text{ср.мес.}}$ Ворк	Б.Хадата Воркута АМСГ- Усть-Воркута Сыктывкар	1958–1963 1926–1963 1818–1860, 1881–1963
1710–1950 (Адаменко, 1963)	1957/1958–1962/1963	Акк ИГАН с $\text{Т}^\circ$ з Б.Хад	Абл с $\text{Т}^\circ \text{л}$ Б.Хад	$\text{Т}^\circ_{\text{ср.мес.}}$ Б.Хад с $\text{Т}^\circ_{\text{ср.мес.}}$ Сыкт.	Дендрохронология, Сыктывкар	1710–1950 1710–1820 1820–1950
1897-1999 Лебедева, 1999	1957/1958–1962/1963	Акк ИГАН с $\text{Т}^\circ$ з Б.Хад	$\sum \text{Абл ИГАН}$ с $\sum \text{Т}^\circ \text{л Б.Хад}$	$\text{Т}^\circ_{\text{ср.мес.}}$ Б.Хад с $\text{Т}^\circ_{\text{ср.мес.}}$ Ворк	Воркута	1897-2000
1900–2000 (Кононов–Ананичева, 2006)	1958/1959–1980/1981	$\text{Вв ИГАН}$ и Обручева с $\text{Хз Б.Хад}$ (нояб-март)	$\text{Vs ИГАН}$ и Обручева с $\text{Т}^\circ \text{л Б.Хад}$ (апрель-авг)	$\text{Т}^\circ_{\text{ср.мес.}}$ Б.Хад с $\text{Т}^\circ_{\text{ср.мес.}}$ Салех.	Б.Хадата Салехард	1958–1962 1900–2000
778–2000 (Кононов–Ананичева, 2005)	1958/1959–1979/1980	Акк с плотностью ранней древесной	Абл с $\text{Т}^\circ \text{л}$	$\text{Т}^\circ \text{л}$ с плотностью поздней древесиной	Дендрохрон. Салехард	778-2000 1883-2000
1900-2000 (Федоров, 2009)	1958/1959–1979/1980	Аккк с ЭЦМ	Акбл с ЭЦМ	-	Б.Хадата Салехард Воркута	1958–1969 1900–2000 1946-2000
<b>1814–2008</b> <b>(Иванов, 2009)</b>	1957/1958–1979/1980	Акк ИГАН с $\text{Т}^\circ_{\text{ср.з.}}$ Воркута (окт-май)	Абл ИГАН с $\text{Т}^\circ_{\text{ср.л.}}$ Воркута (июнь-авг)	$\text{Т}^\circ_{\text{ср.мес.}}$ Б.Хад с $\text{Т}^\circ_{\text{ср.мес.}}$ Ворк, Салех, Сыктывк	Б.Хадата Воркута Салехард Сыктывкар Архангельск	1958–1980 1947–2008 1883–2008 1818–2008 1814–2008

Эта реконструкция представляет интерес для анализа, т.к. величины аккумуляции и абляции восстановлены только на основе информации, извлеченной из древесных колец. Авторы приняли, что ранняя древесина отражает условия весеннего периода и ее толщина обусловлена временем стаивания снежного покрова. Чем больше снега накопилось зимой, тем дольше он тает, тем уже кольца ранней древесины. Сложно оценить, может ли в реальности ранняя древесина отражать условия аккумуляции. Кривая являет собой реконструкцию баланса массы, совокупную для ледников Обручева и ИГАН, что обосновано авторами ввиду тесной связи балансов массы двух ледников, но не бесспорно, поскольку морфология ледников различна, что отражается в моренах, и на протяжении тысячелетия их режим отличался.

Еще одну реконструкцию построила И.М. Лебедева (2007). Саму кривую она не опубликовала, т.к. по реконструкции получалось, что ледники должны наступать, а в реальности они отступают (рис. 65). Реконструкция построена на основе выявленных В.Г. Ходаковым зависимостей, и по устному сообщению И.М. Лебедевой (2009 г.) должна повторять и продлевать кривую Ходакова, однако с 1897 по 1963 г. они соответствуют друг другу не полностью.

Информация по реконструкциям баланса массы ледника ИГАН сведена в табл. 13. Всего построено 6 реконструкций, из которых ни одна не воспроизводит измеренные в 1957-1981 гг. величины достаточно точно. Наличие большого числа реконструкций за разные временные периоды вызывает необходимость проводить их сравнение. Выявлено, что подходы исследователей к реконструкции баланса массы ледников различны и нуждаются в уточнении, дополнении, сравнении результатов и коррекции для повышения точности.

Продлить реконструкции Кононова-Ананчевой и И.М. Лебедевой в прошлое не представляется возможным, а продлить ряд В.Г. Ходакова по связи с температурой в Сыктывкаре не представляет сложности, что и было сделано автором на основе уравнений регрессии. Баланс массы и температуры воздуха за

период 1866-1886 гг. на графике В.Г. Ходакова (рис. 61) изображены пунктирной линией, при этом не дается объяснений как они получены, что вызывало необходимость проверки.

### **5.3. Материалы и методика реконструкций баланса массы ледников**

Реконструкция баланса массы основывается на поиске связи между функцией и известным аргументом. Как правило, аргументом для аккумуляции является количество зимних осадков, а аргументом абляции – летняя температура воздуха на леднике (Кренке, Ходаков, 1966).

Для реконструкции баланса массы ледников Полярного Урала выполнен поиск связи аккумуляции и абляции с метеозементами. Использованы результаты измерений среднемесячных и суммарных температуры воздуха и осадков на близлежащих к ледникам метеостанциях Б. Хадата, Воркута, Салехард, а также на удаленных длиннорядных м/ст Сыктывкар, что обусловлено применением данных этой м/ст в реконструкции В.Г. Ходакова, и м/ст Архангельск как вспомогательной для отдельных месячных значений. Относительно близко от района оледенения в различные периоды времени функционировало значительное количество м/ст (Каталог ледников, 1966), однако в настоящее время многие ряды прерваны и/или прекращены и их использование для наших целей не представляется возможным.

Ряды метеоданных за период инструментальных наблюдений получены из Водного кадастра СССР (1939), Климатологических справочников СССР: В.17, ч.1 (1954) и В.1, ч.1 (1956), Справочников по Климату СССР: В.1, ч.1 (1970), В.17, ч.1 (1972), В.1, ч.2 (1972), В.17, ч.2 (1972), из Обнинского центра данных, а также с сайта Королевского метеоинститута Голландии (knmi.nl). Ряды по температуре и осадкам м/ст. Б. Хадата за весь период измерений (с 1957 по 1980 гг.) были использованы впервые, т.к. данные с 1975 г. не публиковались и предоставлены А.П. Волошиной (приводятся в приложении 1). Данные опубликованы до 09.1962 в Оледенении

Урала (1966), до 1968 в МГИ №16 (Гуськов, 1970), за 1966–74 в Результатах МГД (1980, 1987), осадки за 1965 г. в *Fluctuations of Glaciers 1965-1970* (1973). Необходимо отметить, что метеоданные на сайте [knmi.nl](http://knmi.nl) приводятся в виде измеренных и скорректированных по климатической модели. Нами использованы непосредственно измеренные данные, которые совпадают с цифрами, опубликованными в вышеперечисленных источниках на соответствующие годы.

Согласно Е.С. Рубенштейн (1929), данные метеорологических наблюдений на отдельных станциях в XIX в. не всегда соответствуют современным стандартам, однако использование нами отдельных среднемесячных значений для восстановления пропусков в наблюдениях на метеостанциях при сезонном и годовом осреднении в целом нивелирует возможные ошибки, при этом данные наиболее точны с 1881 г.

При анализе рядов метеорологических наблюдений выявлено, что практически на всех метеостанциях существуют пропуски в среднемесячных наблюдениях с отсутствием данных за периоды от месяца до нескольких лет. Учитывая это, выполнена корреляция рядов метеоэлементов на используемых метеостанциях между собой и с компонентами баланса массы всеми возможными способами. Наилучшие корреляции метеоэлементов между м/ст были установлены отдельно по среднемесячным, среднелетним, среднезимним, среднегодовым, а также суммарным летним, зимним и годовым значениям. При этом, учитывая удаленность м/ст и расположение изучаемых ледников на различных абсолютных высотах, при поиске корреляций варьировались продолжительности периодов аккумуляции (от сентября до июня) и абляции (от апреля до октября) и для средних и для суммарных значений метеорядов. Учитывая вышеуказанные особенности измерений и вычислений аккумуляции и абляции, для полноты исследования корреляции метеоэлементов проводились с компонентами баланса массы, опубликованными и В.Г. Ходаковым (1978), в Материалах МГД (1980, 1987), *Fluctuations* (1967-1985), и А.П. Волошиной (1988).

А.П. Волошина (1978, 1981) установила, что связи основных факторов, определяющих размеры абляции ледников – суммарной солнечной радиации, температуры воздуха, высоты 850 мб поверхности и повторяемости типов погоды друг с другом, выражаются высокими значениями коэффициента корреляции, при этом наиболее тесная связь между суммарной абляцией и температурой воздуха для ледников ИГАН и Обручева  $r=0,82$  и  $r=0,74$ , соответственно. Связь колебаний ледников с различными метеорологическими параметрами проверялась в ряде публикаций (Воскресенская, Ананичева; Ananicheva, Kononov, 2004; Ананичева, Кононова, 2007; Федоров, 2009 и др.).

Использование измеренных величин составляющих баланса ледников (табл. 11-12) и опубликованных по результатам МГД и позже по такой же методике (в табл. 11 выделены желтым цветом) дало более тесную связь метеоэлементов и измеренных компонентов баланса массы ледников ИГАН и Обручева (рис. 66-67).

Установлено, что аккумуляция на ледниках лучше всего ( $r=0,83$ ) связана с среднемесячной температурой воздуха холодного периода (октябрь-май), а абляция с среднемесячной температурой воздуха за июнь-август ( $r=0,86$ ) на ближайшей м/ст Б. Хадата. Корреляция с расчетными значениями баланса, опубликованными А.П. Володиной (табл. 11), оказалась меньше, как и корреляция с суммой температур, использованной В.Г. Ходаковым. Наилучшая корреляция метеорядов установлена между среднегодовыми, табл. 14, а также между среднесезонными температурами воздуха на м/ст за октябрь-май, июнь-август. Подтвердилось предположение о слабой (0,3-0,4) связи между осадками на различных метеостанциях и сообщение В.Г. Ходакова (Оледенение, 1966) о незначительной их связи с компонентами баланса массы.

В результате анализа связи компонентов баланса массы ледников с метеопараметрами, было выявлено, что наилучшим образом связаны температуры воздуха на метеостанциях Б. Хадата, Воркута и Салехард. Для реконструкции баланса массы ледника ИГАН использована связь с м/ст Воркута. Необходимо отметить, что при анализе корреляций, если для м/ст Б. Хадата использован

лишь ее довольно короткий ряд наблюдений (1957-1980), то при анализе связей других метеостанций корреляция вычислялась за весь период наблюдений.

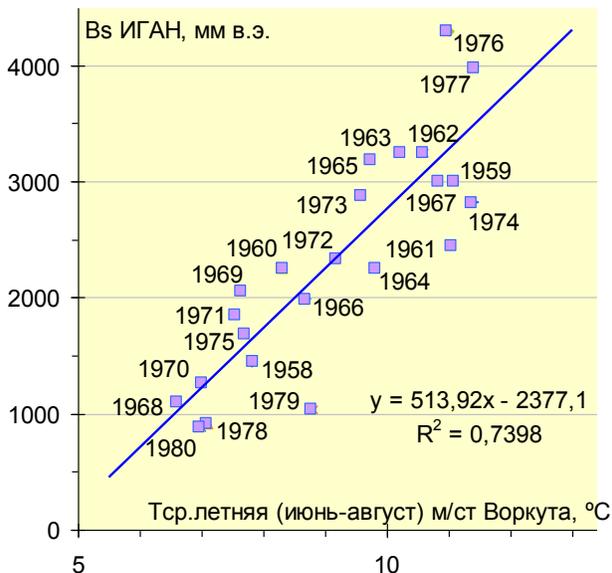
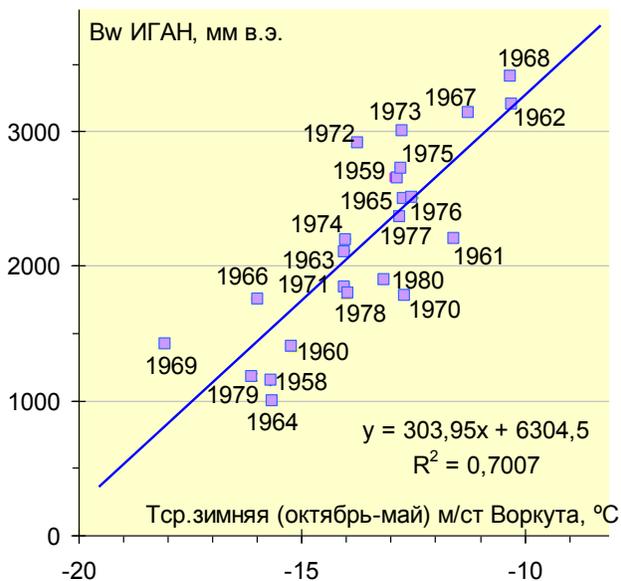


Рис. 67. Связь аккумуляции (Bw) и абляции (Bs) ледника ИГАН с температурой воздуха на м/ст. Воркута.

Таблица 14. Коэффициенты корреляции среднесезонных температур воздуха на м/станциях, аккумуляции и абляции на леднике ИГАН

Т окт-май \ Т июнь-авг	Вв/Вс ИГАН	Архангельск	Сыктывкар	Салехард	Воркута
Большая Хадата	0,84 / 0,87	0,48 / 0,4	0,72 / 0,62	0,94 / 0,95	<b>0,97 / 0,98</b>
Воркута	<b>0,83 / 0,86</b>	0,54 / 0,45	<b>0,75 / 0,77</b>	0,9 / 0,95	1
Салехард	0,74 / 0,89	0,48 / 0,41	0,67 / 0,56	1	
Сыктывкар	0,59 / 0,45	<b>0,74 / 0,78</b>	1		

Для дальнейших построений выполнено восстановление пропусков в метеорядах, согласно СНиП 23-01-99 (1999) и Климатологическому практикуму (Алисов и др., 1977), используя линейные зависимости и уравнения регрессии отдельно для каждого месяца. Пропуски в среднемесячных наблюдениях на метеостанциях Воркута, Салехард, Б. Хадата и Архангельск незначительны, а в Сыктывкаре наблюдения не велись 20 лет. Как отмечается на сайте Северного УГМС (sevmeteo.ru), наблюдения на м/ст Сыктывкар были начаты в 1817 г. и прерывались в 1866-1886 гг., однако данных до 1886 г. на сайте нет. Эти данные опубликованы в Климатологическом справочнике СССР (1965) с пропуском за указанные годы. Анализ справочников показал, что в годы перерыва в относительной близости от Сыктывкара работала только м/ст Архангельск. Длиннорядные станции Сыктывкар и Архангельск тесно связаны (0,78), что позволило восстановить отсутствующие среднемесячные температуры на первой м/ст по данным м/ст Архангельск отдельно для каждого месяца и рассчитать сезонные, (рис. 68). Были использованы уравнения регрессии вида:

$$y = 0,7942x - 4,8125,$$

где:  $y$  – искомая температура воздуха в Сыктывкаре,  $x$  – известная температура за тот же месяц и год в Архангельске. Проверка реконструкции всего периода на основе использования половины ряда показала их высокую схожесть.

Аналогичные взаимные восстановления были выполнены для незначительных пропусков в измерениях температуры между м/ст

Воркута и Салехард. В результате были получены полные ряды для трех метеостанций и выполнено трехступенчатое восстановление рядов для м/ст Воркута на 1882-1946 гг. на основе связи с м/ст Салехард, а на 1814-1881 гг. – на основе измеренных и восстановленных по м/ст Архангельск значений температуры воздуха по м/ст Сыктывкар.

#### **5.4. Реконструкция баланса массы ледника ИГАН**

Проведенные расчеты показали, что ход баланса массы ледников ИГАН и Обручева синхронен за последние 200 лет, на более длительный период наиболее репрезентативен ледник ИГАН из-за морфологических особенностей. Установлено, что ледник ИГАН («балансовый») к 2008 г. сократился по площади от размеров периода наблюдений 1957-1981 гг. на 9 % (от 0,81 км<sup>2</sup> до 0,73 км<sup>2</sup>), Максимальное сокращение площади произошло в 1989-2008 гг. на языке ледника. Для точности реконструкции необходимо пересчитать балансы всех лет наблюдений на площадь, не включающую 9%. На основе новых величин компонентов баланса в границах ледника 2008 г. нужно провести поиск корреляции с метеопараметрами и сделать реконструкцию на 1989-2011 гг., когда сильно сократилась площадь ледника.

Принимая во внимание описанную выше неосуществимую необходимость учета изменений площади ледника внутри периода реконструкции, в расчетах предполагалось, что на весь период реконструкции ледник находился в пределах границ 1953-1989 гг. ( в среднем 0,81 км<sup>2</sup>). До 1953 г. это допущение достаточно обосновано, т.к. по наблюдениям 1953 и 1958 гг. ледник ИГАН контактировал с моренными валами и лишь немногим был ниже гребней первой конечной и боковой морен, возраст которых датируется нами в пределах периода 1820-1890 гг. Оценка сокращения площади ледника с начала XIX в. до 1953 г. составляет 10% (Оледенение Урала, 1966). Ввиду отсутствия результатов первичных наблюдений и невозможности расчета новых зависимостей компонентов баланса и метеоэлементов, примем, что 9% сокращения площади с 1989 по

2008 г. нивелируются 10% в XIX в. и будем использовать среднюю площадь на период реконструкции, равную 0,81 км<sup>2</sup>.

Процесс реконструкции свелся к восстановлению аккумуляции и абляции на леднике ИГАН на основе связи полученных рядов среднелетней (июнь-сентябрь) – ТлВ и среднезимней (октябрь-май) – ТзВ – температуры воздуха в Воркуте и измеренных за 23 года (за 1981 г. данные утеряны) значений аккумуляции и абляции (в табл. 11 выделены желтым цветом) на леднике, на основе использования уравнений регрессии:

$$\begin{aligned} \text{абляция} &= 513,92 \times \text{ТлВ} - 2377,1 \quad (r^2 = 0,74) \\ \text{аккумуляция} &= 303,95 \times \text{ТзВ} + 6304,5 \quad (r^2 = 0,70) \end{aligned}$$

Температура воздуха, измеренная в Воркуте, (Н абс. 180 м), предварительно приводилась к средней многолетней ЕЛА на леднике ИГАН (Н абс. 980 м) с учетом вертикального температурного градиента 0,6°C на 100 м [30, 31].

Другим вариантом восстановления абляции является формула Кренке-Ходакова (1966). В.Г. Ходаков справедливо указывал (Оледенение Урала, 1966), что величина среднемесячной температуры воздуха комплексно отражает не только турбулентную, но и радиационную составляющую таяния, так как радиационные потоки тепла в условиях небольших ледников с массивным горным обрамлением помимо непосредственного воздействия на таяние льда и фирна воздействуют на таяние также в результате теплового излучения горных склонов. К подобному выводу приходит и А.П. Волошина (2002), указывая на тесную связь косвенно зависимых величин среднемесячной температуры воздуха, баланса коротковолновой радиации и элементов теплового баланса. Таким образом, для восстановления величин абляции более обосновано использование формулы Кренке-Ходакова (1966):

$$A = (t + 9,5)^3,$$

где  $A$  – сезонная абляция на высоте границы питания, мм;  $t$  – средняя летняя температура воздуха, измеренная или рассчитанная на этом уровне. Описывая зависимость Кренке-Ходаков (1966) отмечали, что для ледника ИГАН лучше выбрать свободный член

10, учитывая, что ледник открыт солнцу до 17 часов в сутки, а для более закрытого ледника Обручева предлагали свободный член 8,5.

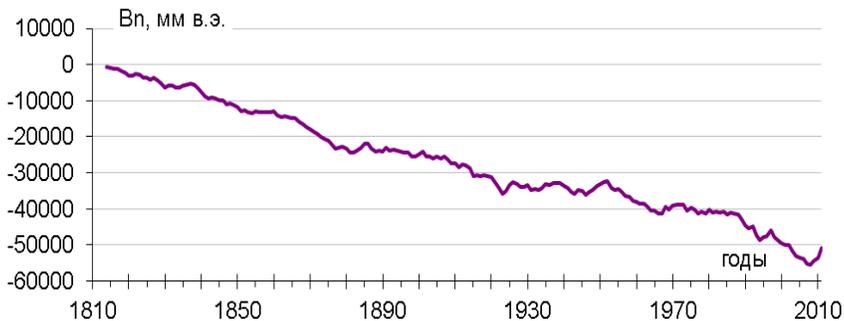


Рис. 71. Кривая куммулятивного баланса массы ледника ИГАН.

Реконструкция абляции была проведена обоими способами и сравнивалась с измеренными величинами. Проверка формулы Кренке-Ходакова для ледника ИГАН показала, что в качестве свободного члена лучше использовать 8,2 (рис. 69), тогда получаемые значения  $V_p$  будут более подобны измеренным. На рис. 69 восстановленных величин абляции на леднике ИГАН представлены кривые, полученные двумя способами, по которым видно, что формула Кренке-Ходакова со свободным членом 8,2 дает наилучший результат. Характер кривой свидетельствует о меньшей точности до 1880 г.

По восстановленным значениям аккумуляции (по уравнению регрессии) и абляции (по формуле Кренке-Ходакова) на основе разности этих величин построены балансовые кривые: сглаженные одиннадцатилетним окном (рис. 70), куммулятивного баланса (рис. 71) и годового разрешения (рис. 72). Численные данные приведены в приложении 3. Поскольку генетически наша реконструкция идет по стопам В.Г. Ходакова, но основывается на более тесных связях и точных рядах, то величины  $V_p$ , реконструированные В.Г. Ходаковым в 1963 г. продлены по уравнениям регрессии до 2011 г.

Для проверки точности полученной реконструкции от измеренных величин в прошлое и к 2011 г. проведено сравнение

построенной кривой баланса массы с реконструкциями выполненными ранее по метеорологическим данным (рис. 73).

Реконструкция В.Г. Ходакова охватывает почти весь XIX век. Продление позволяет сравнить ее с инструментальными наблюдениями и с нашей реконструкцией. Очевидно, что размах колебаний на нашей кривой до 1880-х гг. наследует связь с м/ст Сыктывкар, однако пики на реконструкции В.Г. Ходакова необъяснимы. Из сравнения следует, что все реконструкции отражают цикличность, но различаются, особенно отличается от других реконструкция В.Г. Ходакова и И.М. Лебедевой. На кумулятивных кривых баланса видно, что по В.Г. Ходакову, баланс в 1814-1930 гг. был положительным (с кумулятивным максимумом 7772 мм в.э. в 1888 г.), абсолютный максимум  $V_p$  за весь период реконструкции 640 мм в.э. в 1882 г. Полученные В.Г. Ходаковым в результате реконструкции значения баланса массы ледника ИГАН в периоды около 1820 и 1880 гг. положительны и превышают 400 и даже 600 мм в.э., что возможно только в двух случаях: такими исключительными стечениями обстоятельств могут быть многолетняя аккумуляция, превышающая 700 мм (с учетом плотности снега) в условиях отсутствия таяния, или еще более значительная величина аккумуляции при наличии таяния. Учитывая, что в условиях низкой температуры воздуха, какие наблюдались в указанные годы, снега выпадает меньше, становится очевидно, что ни в одном из двух вариантов не выполнится условие столь большой аккумуляции. Натурные наблюдения в 1957-1981 гг. зафиксировали максимум аккумуляции в 1968 г., равный 3410 мм, а в среднем составляющей 2180 мм. Баланс в 1968 г. составил  $-131$  мм. Это подтверждает неточность реконструированных В.Г. Ходаковым значений баланса массы ледника ИГАН на «спорный» период 1866-1888 гг. Видимо, реконструкция И.М. Лебедевой повторяет те же ошибки

Другим способом проверки реконструированных величин, приведенных в табл. 11, является сравнение абляции, рассчитанной по формуле Кренке-Ходакова, с имеющимися изображениями

ледника, т.к. существует связь между величиной абляции и высотой границы питания.

По приведенным выше рисункам В.А. Хабакова, можно сделать вывод, что таяние летом 1938 г. было незначительным и ЕЛА не поднималась высоко по леднику, чему соответствует слабо отрицательное значение реконструированного баланса (-122 мм в.э.). На аэрофотоснимке 1947 г. более половины площади ледника покрыто снегом, значит баланс был положительным, что сопоставимо с нашей реконструкцией (+816 мм в.э.). На АФС 1953 и 1989 гг., космических снимках Landsat и ASTER 2000 г. более половины площади ледника свободно от снега, что говорит об отрицательном балансе и соответствует расчетным величинам (-1810, -1366, -891 мм в.э., соответственно). По фотографиям экспедиции ИГАН 1999 г. установлено, что уже в июле на многих ледниках до 30% площади освободилось от снега, что при учете таяния в августе-сентябре, соответствует рассчитанному отрицательному  $B_p$  (-795 мм в.э.) Наблюдения экспедиций ИГАН в августе 2005, 2007 и 2008 гг. (устное сообщение Г.А. Носенко, 2008) подтверждают реконструированные нами значения  $B_p$ , т.к. в 2005 и 2007 гг. практически весь снег на леднике стоял (-604 и -1379 мм в.э. соответственно), а в 2008 г. от снега освободилась лишь часть ледника, чему соответствует расчетная величина -205 мм в.э.

Еще одним способом проверки реконструкции является сравнение изменений высоты поверхности ледника и кумулятивной кривой баланса. Известно, что гребень моренного вала маркирует максимальную высоту льда на период своего формирования (Калесник, 1963). Согласно исследованиям О.Н. Соломиной (1999, 2001, 2003) и М.Ю. Мартина (1987), ледник окружают моренные валы, датируемые 1820-1880 гг. На 1963 г. по превышению морены над ледником выполнена оценка среднего понижения поверхности ледника, составившая 25-30 м. Анализ опубликованного топоплана ледника ИГАН (Цветков, 1970) по состоянию на 1963 г. показал, что превышение моренного вала над ледником в конечной и центральной частях составляет до 40-50 м., а в верховьях ориентировочно до 20 м, поэтому среднее превышение морен и

понижение поверхности всего ледника от условного максимума достигает по нашей оценке 35 м. Напомним, что выполненная нами выше оценка понижения высоты поверхности ледника в 1964-2008 гг. составляет 16,5 м. Суммарное среднее понижение высоты поверхности за период реконструкции 1820-2008 гг. составляет 51,5 м, что довольно хорошо сходится с реконструированным нами кумулятивным балансом (-57276 мм в.э.). Возможная причина невязки этих величин заключается в погрешности определения изменения высоты поверхности ледника, недоучете изменений площади ледника, т.к. реконструированный Вп привязан к площади 1957-1981 гг., а также в точности датировки морен.

Кумулятивный баланс, реконструированный нами на период прямых гляциологических измерений на леднике ИГАН в 1957-1981 гг., наилучшим образом из рассмотренных реконструкций согласуется с натурными наблюдениями. Проверка соответствия выполненной оценки понижения высоты поверхности ледника в период 1964-2008 гг. (-16,5 м) и реконструированной величины кумулятивного баланса за этот же период -16049 мм в.э. (рис. 74) показала их схожесть. В то же время реконструкции И.М. Лебедевой и Ю.М. Кононова, если их продлить до 2008 г., и тем более В.Г. Ходакова не достигнут -16000 мм в.э., что видно из графиков.

Кумулятивная кривая баланса ледника ИГАН была наложена на график кумулятивных кривых различных ледниковых районов мира, который составил J. Oerlemans (2008) и заняла место между Арктикой и Альпами, что объясняется анализом факторов оледенения (рис. 75). Схожая картина при сравнении с балансовыми графиками из Dyurgerov, Meier, 2000. Все выполненные оценки точности измерений говорят, что реконструированный нами баланс массы ледника ИГАН на 1914-2008 гг. заслуживает доверия.

Восстановленный баланс массы ледника ИГАН подтвердил известные из предыдущих исследований значительные колебания баланса от года к году. В целом балансовую динамику можно разделить на четыре сдвоенных цикла по 40 лет (рис. 76). Период прямых наблюдений на леднике пришелся как раз на конец одного (сокращение ледников в 1953-1963 гг.) и начало другого цикла, в

котором ледники стационарировались (1967-1981 гг.). С 1982 г. и до настоящего времени наблюдается деградация ледников. По реконструкции наихудшие условия за 200 лет пришлось на 1904, 1989, 1992, 2007, 1918, 1951 гг.

Установлена тесная связь аномалий среднемесячной температуры воздуха июня-августа с годовым балансом массы ледника ИГАН за последние 200 лет (рис. 76), что связано с преобладающим влиянием летней температуры воздуха на эволюцию ледника и определяет его сокращение. Анализ связи годового баланса массы ледников и среднегодовой температуры воздуха на прилегающих м/ст с имеющейся для этого района реконструкцией годовых аномалий температуры воздуха (Briffa, 2000) выявил их довольно высокую связь ( $r=0,6$ ). Аналогичным описанному выше способом, построена реконструкция баланса массы ледника ИГАН за последнее тысячелетие (рис. 77).

Необходимо отметить, что аномалии в указанной публикации восстановлены с использованием дендрохронологических данных и во многом относятся к теплому периоду, при этом анализ многолетних рядов демонстрирует связь летней и зимней температуры, поэтому реконструкция баланса обоснована. Отмечено, что связь баланса массы с реконструкциями температуры воздуха для прилегающих районов (Шиятов и др., 2002; Хантемиров, 2009) ниже.

Во всех реконструкциях баланса массы есть допущения и погрешности. Для уточнения данных реконструкций необходимо использовать достижения рассмотренных выше методов, в частности, озерных отложений и восстанавливать компоненты баланса, учитывая изменения площади и объема по высоте моренных валов для коррекции изменений балансовой поверхности.

Реконструированный нами баланс проверен на несколько временных срезов различными методами и по всем параметрам весьма точно сходится с измеренными величинами. Кумулятивный баланс массы за период натуральных наблюдений соответствует рассчитанному, а за 1964-2008 гг. сходится с величиной понижения

поверхности ледника, установленной по материалам НСС и DGPS съемок ледника.

Для Полярного Урала подтверждена необычная географическая закономерность – возможность реконструкции аккумуляции по средней температуре воздуха холодного периода с большей точностью, чем по осадкам. Выявленные палеогеографические особенности приводят к смещению максимума МЛП с XIX на XVII век, а датирование морен показывает, что наибольшее развитие ледников в голоцене произошло в последнем тысячелетии. Эти сведения в совокупности с датированием позднеледниковым возрастом морен, отстоящих от ледников на 1 км, позволяют по-новому взглянуть на историю плейстоценового оледенения района. Вероятно, температура, а вслед за ней осадки, лимитировали пространственное распространение ледников в плейстоцене.

## 6. Эволюция оледенения Полярного Урала на фоне колебаний климата

Направленность эволюции оледенения за сравнительно короткие промежутки времени при стабильности рельефа определяется изменениями климата. Флуктуации солнечной радиации, температуры воздуха и увлажнения вызывают колебания ледников. Исследования в период работы Полярно-Уральской экспедиции (Оледенение Урала, 1966; Троицкий, 1976) и позже (Долгушин, 2001, Tores, 2004), показали что в позднем плейстоцене оледенение Полярного Урала являлось горно-долинным, начиная с позднего дриаса ледники постепенно деградировали, а в период голоценового оптимума исчезали вовсе (Сурова и др., 1974, 1975).

Полученные впервые на Урале по изотопам бериллия-10 датировки конечных морен ледников Чернова (Mangerud, 2008) и МГУ (Svendson, 2011) показывают, что даже в период максимума позднплейстоценового оледенения (18-20 тыс. л.н.) ледники Полярного Урала увеличивались в размерах очень незначительно, были всего на 1 км длиннее современного (Иванов, 2012а).

Это подтверждается работами Российско-Норвежского проекта ICEHUSE – Ледниковая история и расселение человека в северной Евразии в рамках МПП 2007-2009 гг. и позже ([www.gyllencreutz.se](http://www.gyllencreutz.se)) по изучению древнего оледенения Урала, в котором принимал участие автор. В рамках проекта проведено бурение нескольких озер и выполняется анализ кернов (Svendson, 2011, Svendson и др., 2013).

Донные отложения озёр Полярного Урала содержат богатейший архив палеогеографической информации (Миронова, Россоломо, 1964) и всё ещё ждут детального исследования. Первые исследования кернов озёрных отложений выполнены Д.Ю. Большиановым (2006). Изучение отложений приледникового озера Б. Кузьты (Иванов, 2008), расположенного ниже по долине от позднплейстоценовых морен ледника Чернова и спорово-пыльцевых диаграмм района (рис. 78) позволило установить периоды активизации ледников в голоцене. В неогляциале (около 6000 л.н.) началось похолодание в несколько этапов, которые

фиксируются в озерных отложениях периодами повышенного накопления грубозернистых песчаных отложений. При благоприятных условиях в эти периоды ледники могли возрождаться, однако в предполях их следы не сохранились, т.к. стерты бóльшим по площади наступающими ледниками последнего тысячелетия, часто называемого малым ледниковым периодом.

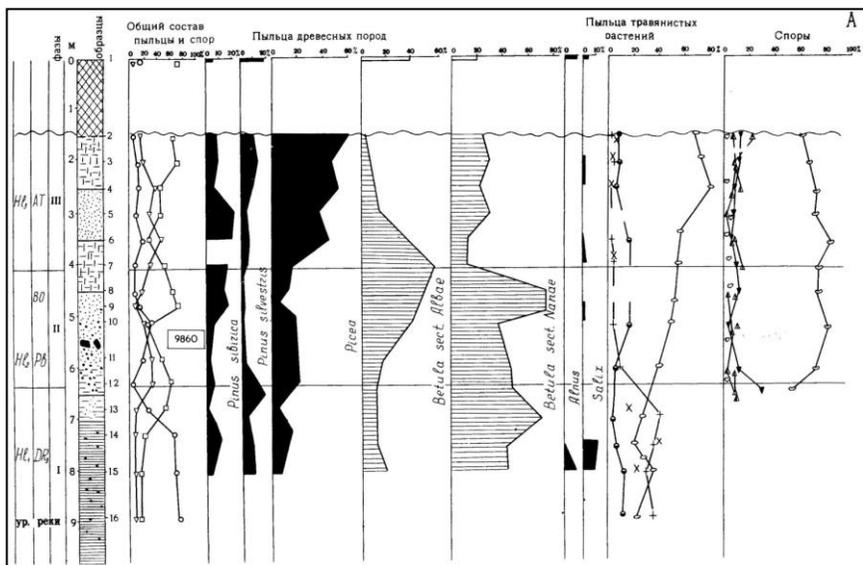


Рис. 78. Спорово-пыльцевая диаграмма из разреза древнеозерных отложений в долине р. Б. Лагорта. (Сурова и др., 1975).

Исследованию климата последних тысячелетий посвящены многочисленные публикации (Ле Руа ла Дюри, 1971; Борисенков, Пасецкий, 1988; Борисенков, Пасецкий, 1988; Колебания климата..., 1988; Клименко, 2001, 2009; Ljungqvist и др., 2012 и др.), освещающие особенности климатических колебаний и их причины. Из перечисленных публикаций известно, что начало последнего тысячелетия характеризуется теплым климатом, основные черты которого совпадают с современными (Клименко, 2001), а более поздние века характеризуются похолоданием (рис. 79).

Малый ледниковый период – широко распространенный термин, относящийся к последнему крупному похолоданию,

вызвавшему наступание ледников более или менее синхронное во всех горных странах (Grove, 2004; Серебряный, Соломина, 1995). Однако хронологические рамки самого МЛП до сих пор остаются спорными. Часть исследователей относит его начало ко времени  $1275\pm 60$  гг. и включает раннесредневековое похолодание с пиком около 600 л.н., другие соотносят с этим термином только позднюю стадию наступания ледников и датируют начало МЛП  $1510\pm 50$  гг. Окончание МЛП принято датировать 1850 г., хотя известно, что в некоторых районах ледники наступали и позже, например, до 1920 г., в Скандинавии (Соломина, 1999).

Важную роль в изменениях климата играют циклические и периодические процессы (Тушинский, Турманина, 1979; Колебания климата..., 1988). С исследованием цикличности связан поиск климатических палеоаналогов для прогноза на основе их использования. Периоды изменения температуры воздуха и увлажнения проявляются несинхронно, что при их различном сочетании может привести к развитию обширного оледенения в условиях влажного прохладного климата, или наоборот, ограниченного по площади оледенения в более сухих и суровых температурных условиях из-за меньшей пластичности льда; а в условиях потепления может вызывать сокращение оледенения при недостатке зимних осадков или к увеличению интенсивности массообмена при росте аккумуляции и абляции.

Более 150 лет на фоне роста температуры воздуха на Земле (Oerlemans, 2005; IPCC, 2007,) (рис. 80) оледенение практически повсеместно сокращается (Поповнин, 2006; Global Glacier Changes, 2008), что, возможно, является повторением тысячелетнего климатического цикла. Ледники Полярного Урала тоже отступают и утоньшаются, что приводит к убыли массы льда и фиксируется не только морфологически, но и инструментальными исследованиями (рис. 81). В этом контексте интересно рассмотреть построенные нами и другие реконструкции и сравнить с температурными кривыми на более длительный период.

Согласно выводам исследователей периода 1957–1964 гг., оледенение Урала получило максимальное распространение в XVII-

XIX вв., а начиная примерно с 80-х годов XIX в. ледники постепенно деградируют (Оледенение Урала, 1966). Однако, выше показано, что деградация оледенения началась ранее.

Построенные ранее по дендрохронологическим исследованиям тысячелетние реконструкции баланса массы, обобщенная для ледников ИГАН и Обручева (Kononov, Ananicheva, 2005) и для ледника ИГАН (Адаменко, 1063, 1991) носили экспериментальный характер и поэтому на целый ряд периодов не согласуются с различными косвенными данными о климате. Нужно отметить, что кривая Вп Кононова-Ананичевой довольно-таки точно повторяет нашу реконструкцию на период 1840-1960 г., но расходится с ней и с прямыми измерениями в конце XX века. Размах колебаний кривой Вп Кононова-Ананичевой (2005) в XVIII веке примерно согласуется с кривой В.Н. Адаменко (1963), учитывая, что автор оговаривался об опытном характере реконструкции на 1700-1820 гг.

Проведенный нами анализ показал, что величина среднезимней температуры воздуха, тесно связанная с аккумуляцией, косвенно характеризует лавинное и метелевое питание ледников, что, по-видимому, связано со специфическим положением ледниковой системы. Снижение среднегодовой температуры воздуха в определенных пределах ведет к уменьшению как абляции, так и аккумуляции. Повышение температуры, вызывающее увеличение аккумуляции, с другой стороны, приводит к еще большей абляции (увеличению интенсивности массообмена). На протяжении последних 400 лет между балансовой кривой и наиболее близкой для Урала температурной кривой Атлантического сектора (рис. 80) наблюдается несколько подобных взаимосвязей (табл. 15).

Анализ составленной таблицы, графиков колебания баланса массы ледников и температурной кривой атлантического сектора за 400 лет показывает, что на Полярном Урале чередовались периоды роста и снижения Вп. На протяжении XVI и XVII вв. величины Вп были больше, чем в XIX веке. Временем максимального развития оледенения в малый ледниковый период

можно считать XVI и XVII века. Подтверждение этого – наличие на ледниках Ю. Карском, Щучьем, ИГАН и др., наиболее широких моренных валов, датируемых этим временем. Длительный период положительного баланса должен был привести к формированию широкого моренного вала.

Таблица 15. Связи балансовых, климатических кривых и наличия морен на леднике ИГАН

годы	Аномалии ср.год. температуры воздуха, °С в секторе с Атлантическим питанием (рис. 78)	Вп ледника ИГАН, мм в.э. реконструированный различными исследованиями	Наличие конечных и боковых морен на леднике ИГАН с датировкой (Мартин, 19874 Соломина и др., 2010) около балансовых климатических соответствий	ИТОГ (положительный баланс, формирование конечной морены)
1610	-0,4	+ 659 (Иванов)	1600	+
1644	-0,5	+647 (Кононов)	1642-1651	
1701	-0,6	+705 (Кононов)		нет
1729	-0,8	+97 (Кононов)		нет
1790	-0,5	+60 (Иванов)	1770	+
1838	-0,5	+778 (Кононов)	1820 (1808-1832)	+
1840		+ 200 (Адаменко)		
1830		+320 (Иванов)		
1870	-0,7	-800 (Кононов) 0 (Адаменко) +180 (Иванов)	1870 (1875-1891)	+
1954	+0,1	+ 200 (Кононов) + 100 (Адаменко) + 300 (Иванов)	1940-1950	+

Далее после максимума МЛП происходило постепенно сокращение ледников чередующееся с периодами стационарирования, что хорошо видно на кумулятивной кривой (см. рис. 71). Л.С. Троицкий, учитывая реконструкцию В.Г. Ходакова, в монографии «Оледенение Урала» (1966) отмечал: «Еще в XIX веке преобладало положительное сальдо вещественного баланса ледников Урала, и, следовательно, ледники испытывали увеличение

своей массы. Период полного оборота вещества ледников, определенный по числу огив (здесь годовых слоев – прим. М.И.) и средним скоростям движения льда, составляет для крупных ледников Урала 400-450 лет, а для средних размеров – 250-300 лет. Таким образом формирование данной массы льда в ледниках происходило, начиная с XVI-XVII вв., хотя сами ледники существовали на протяжении всего позднего голоцена». На наш взгляд, эти слова только подтверждают наши выводы о максимальном развитии оледенения в 1600-е годы.

Сопоставление различных косвенных данных о климате Евразийского сектора Арктики и Субарктики за последние 1500 лет (Solomina, Alverson, 2004) показывает их пестроту и неоднородность за короткие периоды, однако демонстрирует общий тренд к похолоданию за указанный период и современное потепление, начиная с 1850 г.

На Урале проведены геотермические исследования (Demezhko и др., 2007; Литовский, 2009) и восстановлена палеотемпература. Как показывают имеющиеся данные о вековых колебаниях температуры в скважинах, это поле хотя и не сохраняет в деталях информацию о краткосрочных или высокочастотных (суточных и иных) колебаниях температуры, тем не менее достаточно надежно хранит память о былых долговременных колебаниях температурного режима горных пород (Литовский, 2009). Результаты восстановления приземной температуры воздуха подтверждают наибольшее похолодание к 1700 г.

Нами обобщены результаты лихенометрического датирования наиболее полных амфитеатров морен ледников: ИГАН (Мартин, 1987), Берга и ИГАН (Solomina и др., 2010) и наши датировки морен ледников Щучьего и Ю. Карского и других, что позволило выявить периоды интенсивного формирования морен (рис. 82).

Установлено, что в последнем тысячелетии на Полярном Урале на фоне изменений климата чередовались периоды роста и снижения баланса массы ледников (рис. 82, 83), обусловленные изменениями температуры воздуха и увлажнения. В начале тысячелетия ледники уже существовали. Выявлены периоды

потепления и сокращения ледников в последнем тысячелетии в XII и XIV веках, согласующиеся с данными по изменению верхней границы леса в этом районе (Shiyatov, 2003). Максимальное увеличение массы и динамики ледников произошло в XVII веке, что установлено на основании датирования моренных отложений.

Моренные валы ледников этого периода характеризуются наибольшим объемом. На протяжении XVI и XVII вв. величины баланса массы на пиках были больше, чем в XIX и XX веках, что в большей мере обусловлено повышенным увлажнением и ускоренным массообменом в ледниках.

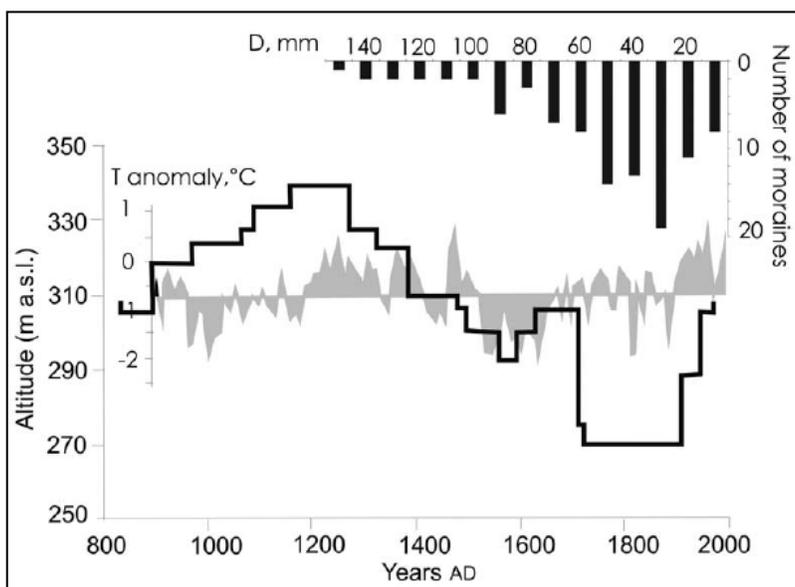


Рис. 82. На кривую аномалий температуры воздуха на Полярном Урале (Briffa et al., 1995) наложена кривая изменений высоты верхней границы леса (Шиятов, 2003) и диаметры лишайников, за 700 лет. (Solomina и др., 2010).

Датируемый ранее максимум развития ледников в XIX веке был основан на данных о значительном похолодании в этот период, однако по географической логике значительное понижение температуры воздуха может привести к замедлению массооборота. Выявлено, что сокращение ледников в последнее десятилетие наибольшее за всё тысячелетие, что согласуется с изменением

температуры воздуха (рис. 79). В научной среде существует неоднозначное толкование современных изменений и различные прогнозные модели. По этой причине делать обширный прогноз в рамках данной работы неуместно, но общие черты можно наметить. Прогноз развития ледников уже составлялся ранее (Глазовский и др, 2005; Ананичева и др., 2008), однако, по нашей оценке, он слишком катастрофичен, и, по рассмотренным выше причинам, даже при сохранении современных темпов роста температуры воздуха ледники в ближайшие десятилетия продолжают существовать.

Подводя итог анализу полученных данных, можно заключить:

- существующий глобальный тренд температуры и прогнозные сценарии неоднозначны;
- на ледниках Полярного Урала фиксируются все признаки деградации (высокое положение современных конечных и боковых морен, полосы отмывки на стенках каров, образование озер на ледниковых языках, отрыв ледников от конечно-моренных валов, сокращение размеров, превращение языков в участки мертвого льда и их распад;
- наряду с этим отмечены возможные причины стабилизации ледников при переходе в новые морфологические типы, и сохранении в затененных карах или на возвышенных участках с повышенным накоплением снега;
- для выявления наиболее тесных зависимостей между колебаниями ледников и климата необходимо продолжение мониторинга.

Большинство ледников в северной части Полярного Урала обрамлены моренами, в южной части лишь некоторые. С одной стороны это связано с большей абсолютной высотой и расчленённостью рельефа в северной части, с другой – с близостью океана и повышенным поступлением осадков. Отступив в начале голоцена от морен последнего максимума оледенения, наиболее активные ледники Урала создали в конце голоцена новые, менее мощные морены малого ледникового периода (рис. 84, 85) и продолжают свою эволюцию.

Рядом с современными ледниками расположены пустые кары, в которых прослеживаются следы недавнего оледенения. На ранних аэрофотоснимках 1947 г. в некоторых из каров ещё оставались остатки ледников, разраставшихся в максимум малого ледникового периода на фоне повышенного снегонакопления, увеличения лавинного питания и сокращения абляции ледников. За последние 200 лет эти ледники растаяли, на месте некоторых из них залегают снежники. Первые исследователи ледников Полярного Урала были свидетелями быстрого сокращения ледников Ковальского, Станционного. Нами выявлено исчезновение ледников в хр. Харбей-Хой и других. В летние сезоны 2010, 2011, 2012 гг. на фоне низких среднемесячных температур новые снежники-перелетки сохранялись в эрозионных формах рельефа до конца лета. При гипотетическом улучшении климатических условий – увеличении аккумуляции и снижении абляции в пустых карах была бы возможна регенерация ледников, однако днища многих каров переуглублены ротационным движением льда и заняты озерами, что лимитирует развитие ледников.

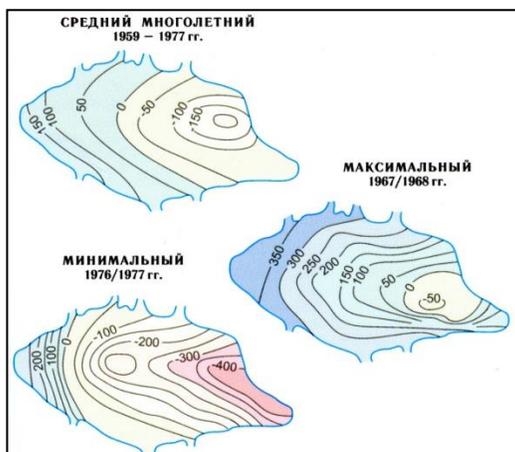
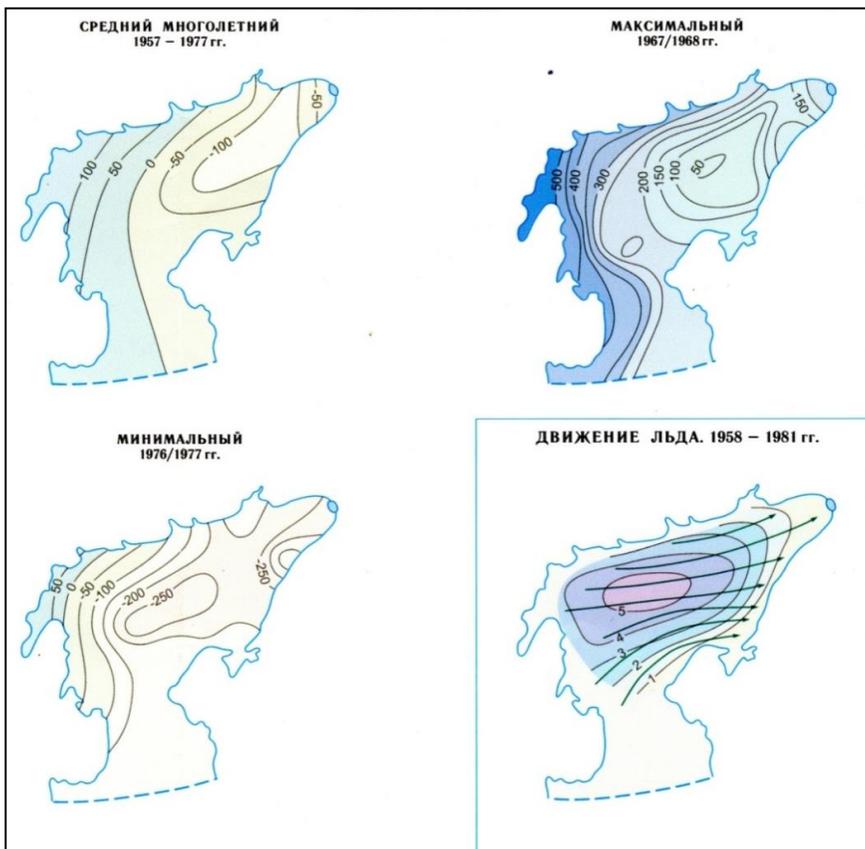


Рис. 59. Баланс массы ледников ИГАН и Обручева, г/см<sup>2</sup> (АСЛРМ, 1997).

Таблица 11. Опубликованные сведения о балансе-массы ледника ИГАН

годы	Гуськов, мм в.э. (0,85км²)				Гуськов, г/см² (0,85км²)				Гуськов, г/см² (0,81км²)				Ходаков, г/см² (0,85км²)			Рез МГД, мм в.э.			Fluct. of glacier, мм в.э.				Волошина, г/см²			мги62, г/см²					
	bw	bs	Bn	мги	bw	bs	Bn	мги	bw	bs	Bn	мги	bw	bs	Bn	bw	bs	Bn	bw	bs	Bn	FG	bw	bs	Bn	bw	bs	Bn			
1958	1150	1450	-300	11,12	115	145	-30	15	115	146	-31	20	115	145	-30	1150	1450	-300					115	145	-30						
1959	2650	3000	-350	11,12	265	300	-35	15	265	299	-34	20	265	300	-35	2650	3000	-350	2650	2999	-340	2	265	300	-35				265	300	-35
1960	1400	2250	-850	11,12	140	225	-85	15	140	208	-68	20	140	225	-85	1400	2250	-850	1400	2080	-680	2	140	208	-68				140	208	-68
1961	2200	2450	-250	11,12	220	245	-25	15	220	246	-26	20	220	245	-25	2200	2450	-250	2200	2460	-260	2	220	246	-26				220	246	-26
1962	3200	3250	-50	11,12	320	325	-5	15	320	321	-1	20	320	325	-5	3200	3250	-50	3200	3210	-10	2	320	320	0				320	321	-1
1963	2100	3250	-1150	11,12	210	325	-115	15	210	337	-127	20	210	325	-115	2100	3250	-1150	2100	3370	-1270	2	210	337	-127				210	337	-127
1964	1000	2250	-1250	11,12	100	225	-125	15	100	200	-100	20	100	225	-125	1000	2250	-1250	1000	2000	-1000	2	100	200	-100				100	200	-100
1965	2500	3180	-680	12	250	318	-68	15	250	316	-66	20	250	318	-68	2500	3180	-680	2500	3160	-660	2	250	316	-66				250	316	-66
1966	1750	1980	-230	14	175	198	-23	15	175	195	-20	20	175	198	-23	1750	1980	-230	1750	1950	-200	2	175	195	-20				175	195	-20
1967	Гуськов, г/см² (0,82км²)				314	300	22	15	314	283	31	20	314	300	14	3140	3000	140	3140	2830	310	2	314	283	31				314	283	31
1968	341	110	231	23	341	141	200	16	341	92	249	20	341	110	231	3410	1100	2310	3410	920	2490	2	341	92	249				341	92	249
1969	142	205	-63	23	142	200	-58	18	142	200	-58	20	142	205	-63	1420	2050	-630	1420	2000	-580	2	142	200	-58				142	200	-58
1970	178	126	52	23	178	177	1	19	178	177	1	20	178	126	52	1780	1260	520	1780	1770	10	2	178	177	1				178	177	1
1971	184	185	-1	23					184	198	-14	20	184	198	-14	1840	1850	-10	1840	1980	-140	3	184	198	-14				184	198	-14
1972	291	233	58	23,27					291	233	58		291	233	58	2910	2330	580	2910	2330	580	3	291	253	38				291	253	38
1973	300	288	12	25,27					300	288	12		300	288	12	3000	2880	120	3000	2880	120	3	300	268	32				300	268	32
1974	219	282	-63	27					219	282	-63		2190	2820	-630	2190	2820	-630	3	219	312	-93				219	312	-93			
1975	272	168	104	28	Гохман, г/см				272	180	92	42				2720	1680	1040	4	272	180	92				272	180	92			
1976					251	429	-178	31	251	404	-132	42				2510	4290	-1780	4	251	383	-132				251	383	-132			
1977					236	398	-162	33	236	402	-166	42				2360	3980	-1620	4	236	402	-166				236	402	-166			
1978					180	91	89	39	180	91	89	42									890	5	325	236	89						
1979											-37	42							1180	1040	-350	5	255	292	-37						
1980																			1900	880	1020	5			102	190	88	102			
1981																									-111			-111			

Прямоугольниками выделены используемые нами величины, содержащие меньше расчетных значений.

Таблица 12. Опубликованные сведения о балансе-массы ледника Обручева

годы	Гуськов, мм в.э.(0,31км²)				Гуськов, г/см²				Гуськов, г/см²(0,32км²)				Ходаков, г/см²(0,32км²)			Рез МГД, ,мм в.э.			Fluct.of glacier, мм в.э.			Волошина, г/см²			мгиб2, г/см²				
	bw	bs	Bn	мги	bw	bs	Bn	мги	bw	bs	Bn	мги	bw	bs	Bn	bw	bs	Bn	bw	bs	Bn	FG	bw	bs	bn	bw	bs	Bn	
1958	1850			11,1	185			15					185	210	-25	1850							185	235	-50				
1959	2900			11,1	290			15					290	370	-80	2900							290	345	-55				
1960	1750	2600	-850	11,1	175	260	-80	15	175	-225	-50	20	175	260	-85	1750	2600	-850	1750	2250	-500	2	175	225	-50	175	225	-50	
1961	2800	3100	-300	11,1	280	310	-30	15	280	-301	-21	20	280	310	-30	2800	3100	-300	2800	3010	-210	2	280	301	-21	280	301	-21	
1962	3500	3700	-200	11,1	350	370	-20	15	350	-365	-15	20	350	370	-20	3500	3700	-200	3500	3650	-150	2	350	365	-15	350	365	-15	
1963	2500	3500	-1000	11,1	250	350	-100	15	250	-323	-73	20	250	350	-100	2500	3500	-1000	2500	3230	-730	2	250	323	-73	250	323	-73	
1964	1100	2000	-900	11	110	250	-140	15	110	-240	-130	20	110	250	-140	1100	2500	-1400	1100	2400	-1300	2	110	240	-130	110	240	-130	
1965	2420	2560	-140	12	242	256	-14	12,15	242	-278	-36	20	242	256	-14	2420	2560	-140	2420	2780	-360	2	242	278	-36	242	278	-36	
1966	2030	1720	310	14	203	172	31	15	203	-175	28	20	203	172	31	2030	1720	310	2030	1750	280	2	203	175	28	203	175	28	
1967	Гуськов, г/см²(0,32км²)				376	347	29	15	376	-356	20	20	376	347	29	3760	3470	290	3760	3560	200	2	376	356	20	376	356	20	
1968	341	141	200	23	341	110	231	16	341	-160	181	20	341	141	200	3410	1410	2000	3410	1600	1810	2	341	160	181	341	160	181	
1969	148	184	-36	23	148	203	-55	18	148	-203	-55	20	148	184	-36	1480	1840	-360	1480	2030	-550	2	148	203	-55	148	203	-55	
1970	220	154	66	23	220	186	34	19	220	-186	34	20	220	154	66	2200	1550	660	2200	1860	340	2	220	186	34	220	186	34	
1971	226	235	-9	23	226	-247	-21	20	226	235	-9	20	226	235	-9	2260	2350	-90	2260	2350	-90	3	226	247	-21	226	247	-21	
1972	365	270	95	23,3	365	270	95		365	270	95		365	270	95	3650	2700	950	3650	2700	950	3	365	280	85	365	280	85	
1973	308	272	36	25,3	308	272	36		308	272	36		3080	2720	360	3080	2720	360	3080	2720	360	3	308	290	18	308	290	18	
1974	262	303	-41	27	Гохман, г/см				262	330	-68	42	2620	3030	-410	2620	3030	-410	2620	3030	-410	3	262	330	-68	262	330	-68	
1975	275	261	14	28	Гохман, г/см				275	258	17	42	2750	2610	140	2750	2610	140	2750	2610	140	4	275	258	17	275	258	17	
1976					352	441	-89	31	352	487	-135	42	3520	4410	-890	3520	4410	-890	3520	4410	-890	4	352	487	-135	352	487	-135	
1977					335	488	-153	33	335	499	-164	42	3380	4880	-1500	4	335	499	-164	335	499	-164	4	335	499	-164	335	499	-164
1978					376	229	147	39	376	220	156	42	3760	2200	1560	5	376	220	156	376	220	156	5	376	220	156	376	220	156
1979					298	299	-1	42	298	299	-1	42	1690	1190	-10	5	298	299	-1	298	299	-1	5	298	299	-1	298	299	-1
1980													2140	1070	1070	5									107			107	
1981																									-94			-94	

Прямоугольниками выделены итоговые значения, полученные по результатам изучения баланса-массы

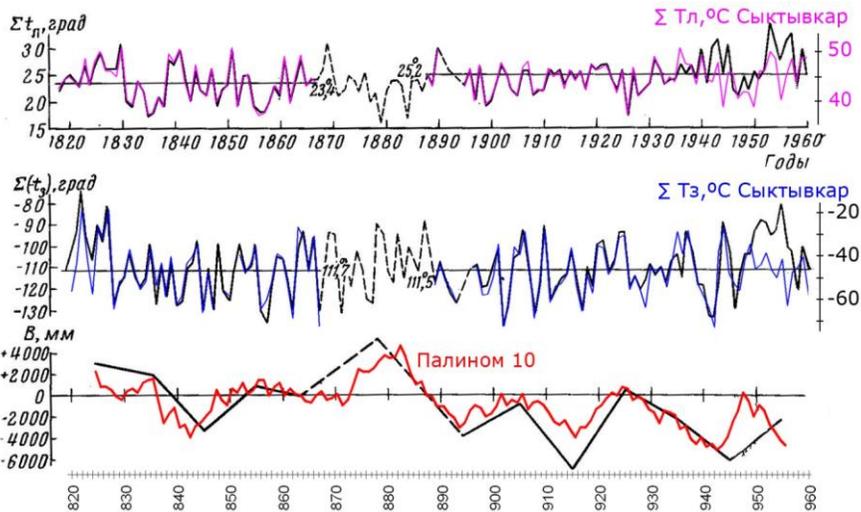


Рис. 61. Расчетные суммы летних ( $\Sigma t_n$ ) и зимних ( $\Sigma -t_s$ ) среднемесячных температур воздуха на м/ст Б. Хадата и десятилетних сумм сальдо вещественного баланса (В) ледника ИГАН (Оледенение, 1966 с изм.).

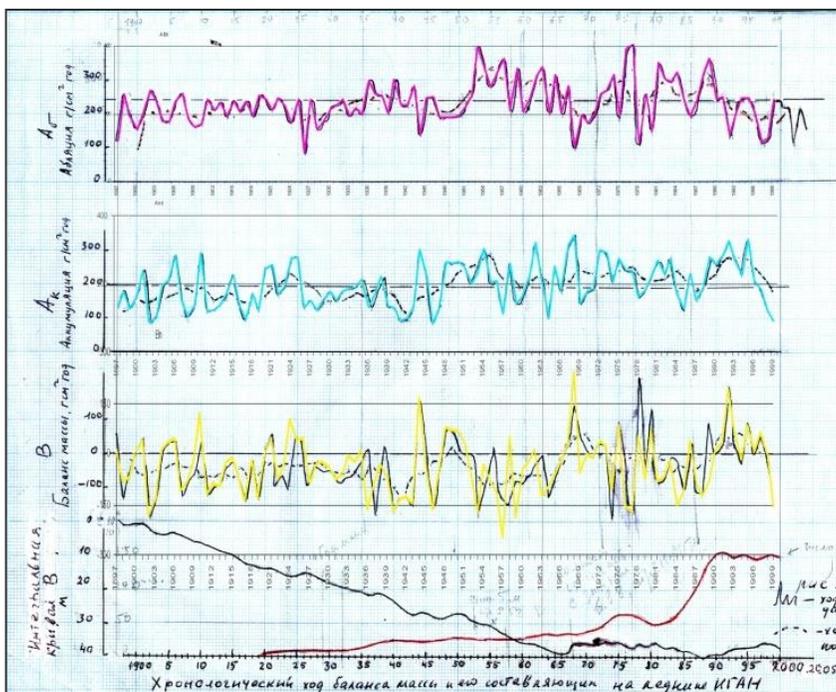


Рис. 65. Реконструкция элементов баланса массы ледника ИГАН (Лебедева, 2007).

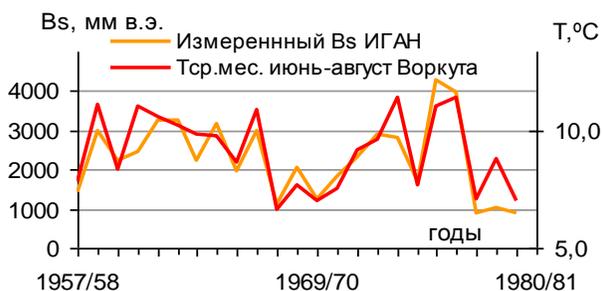
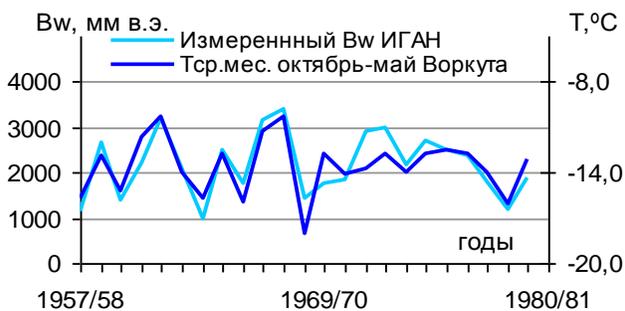


Рис. 66. Измеренные аккумуляция ( $B_w$ ), абляция ( $B_s$ ) ледника ИГАН и температура воздуха на м/ст. Воркута.



Рис. 68. Средняя температура воздуха по м/ст Сыктывкар за октябрь-май (вверху) и июнь-сентябрь (внизу).

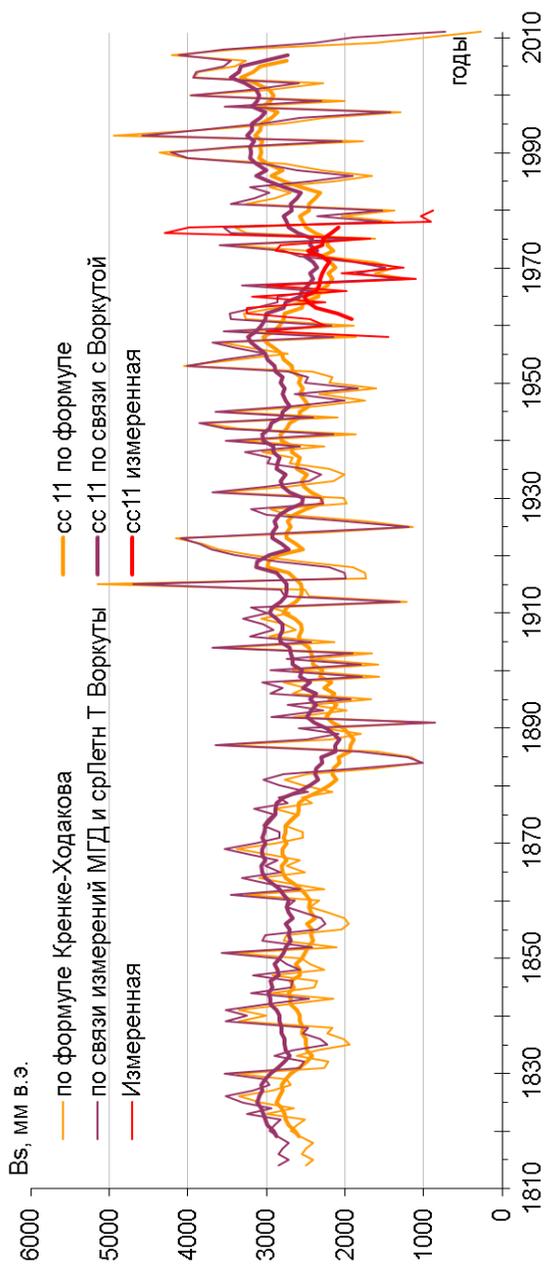


Рис. 69. Графики абляции на леднике ИГАН, скользящие средние по одиннадцатилетиям.

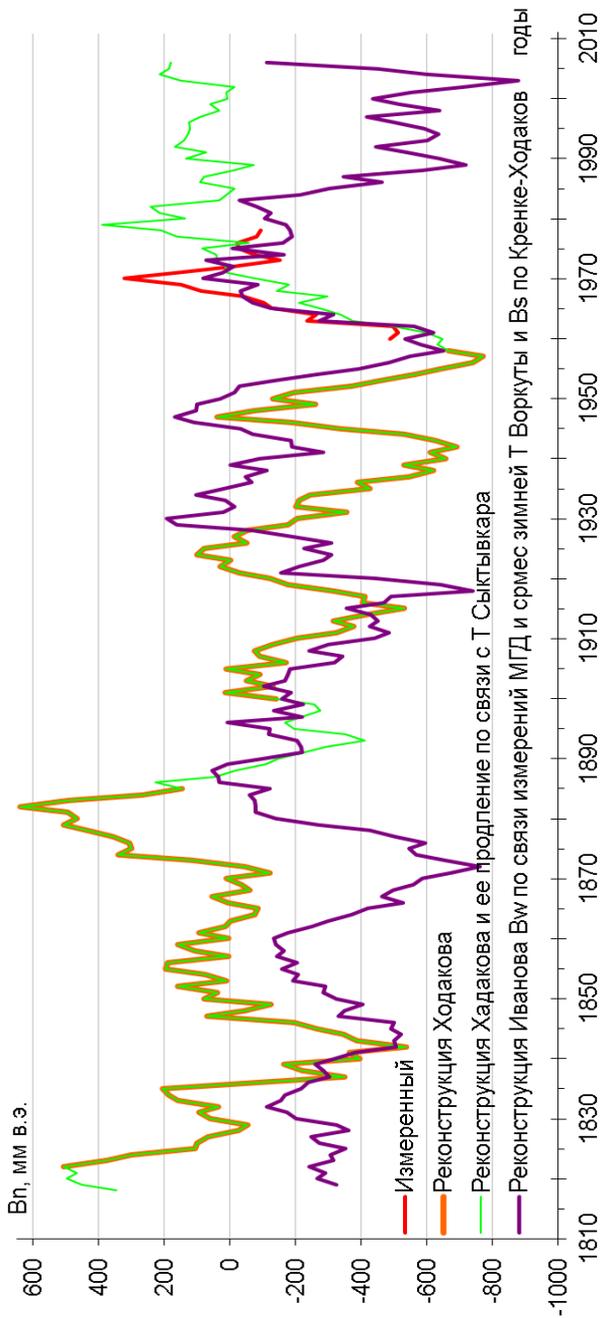


Рис. 70. Вл ледника ИГАН, скользящие средние одиннадцатилетние.

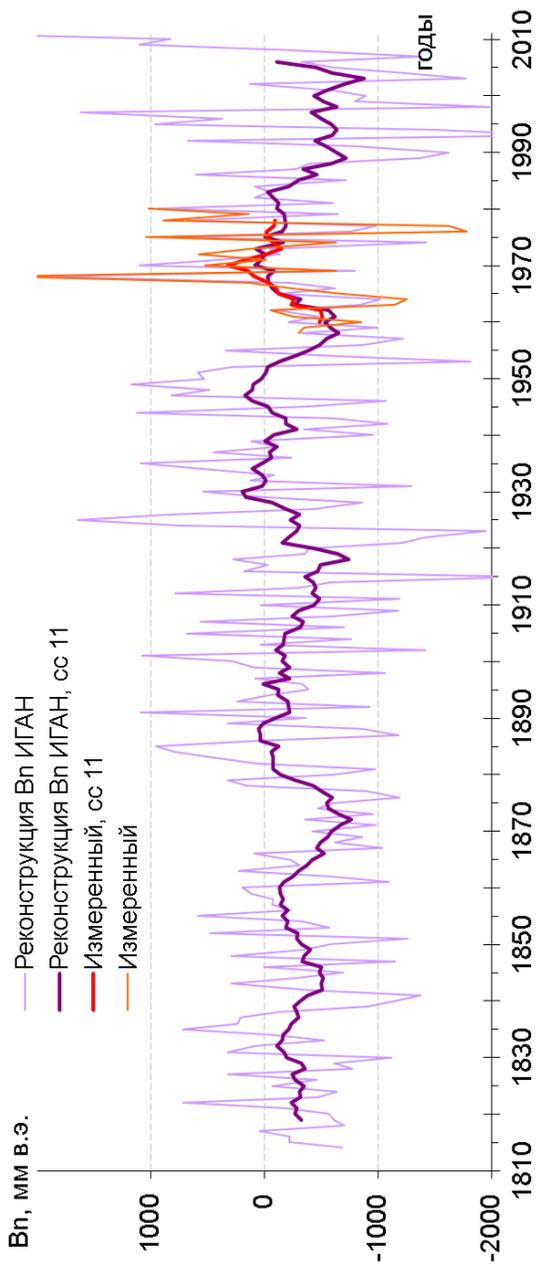


Рис. 72. Баланс массы ледника ИГАН, годовые и скользящие средние одиннадцатилетние значения.

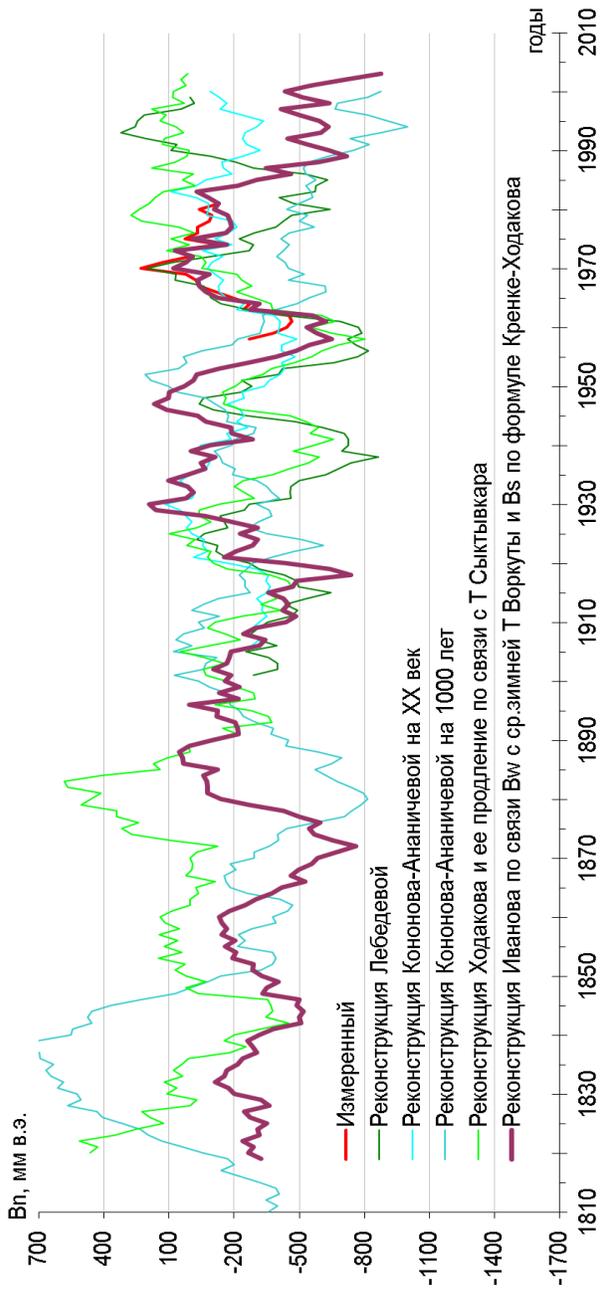


Рис. 73. Реконструкции баланса массы ледника ИГАН, скользящие средние одиннадцатилетние значения.

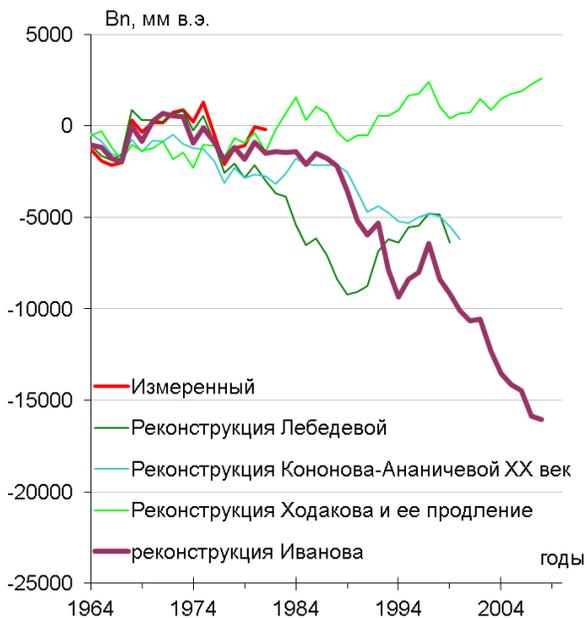


Рис. 74. Кумулятивный  $V_p$  ледника ИГАН, реконструированный различными авторами.

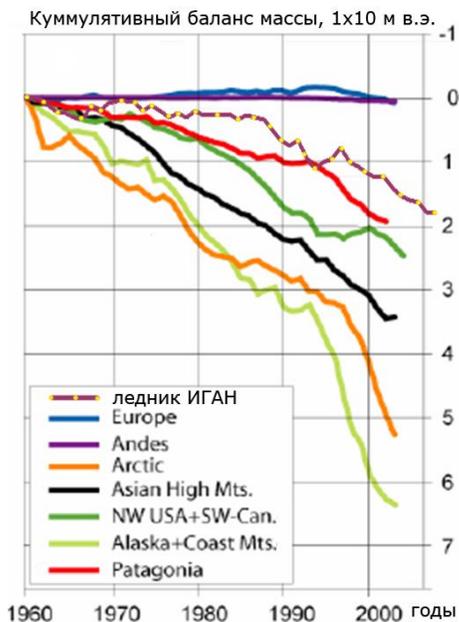


Рис. 75. Кумулятивные кривые ледниковых районов мира (Oerlemans, 2008 с изм.).

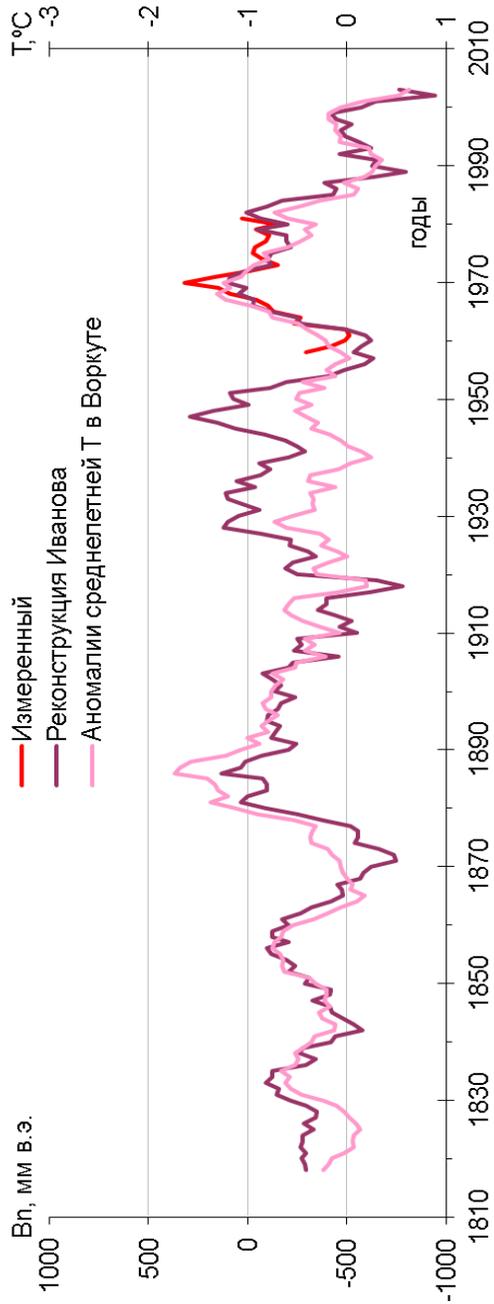


Рис. 76. Баланс массы ЛГАН и аномалии восстановленной ср. мес. температуры воздуха за июнь-август на м/ст Воркута.

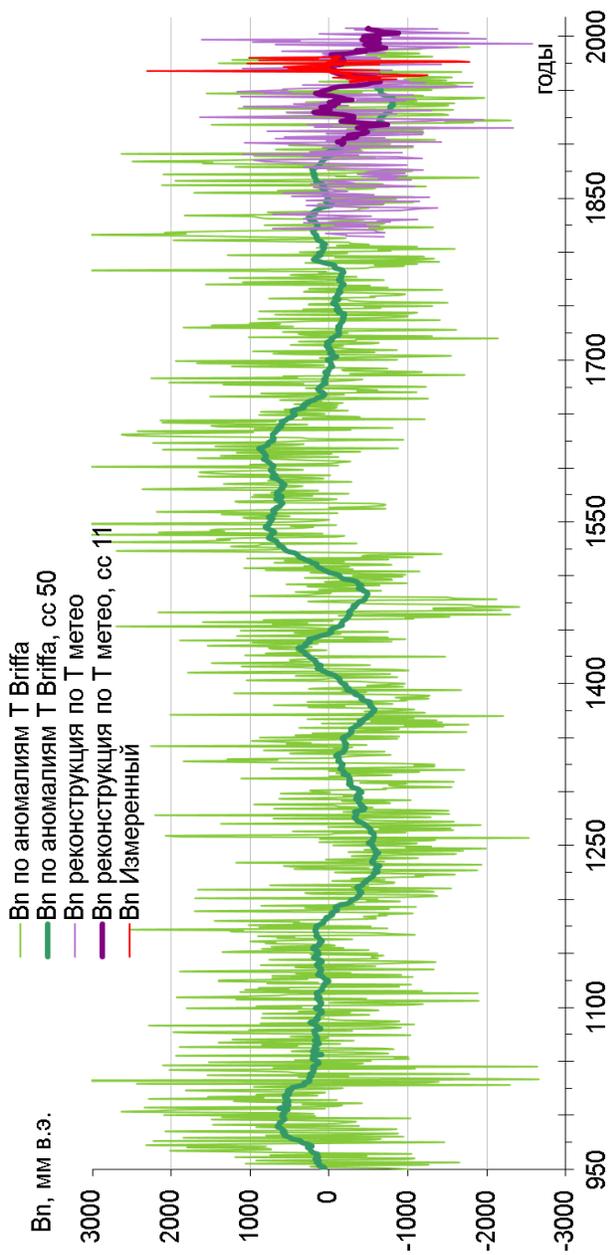


Рис. 77. Баланс массы ледника ИГАН, восстановленный по аномалии среднемесячной температуры воздуха за июнь-август на основе дендрохронологических исследований.

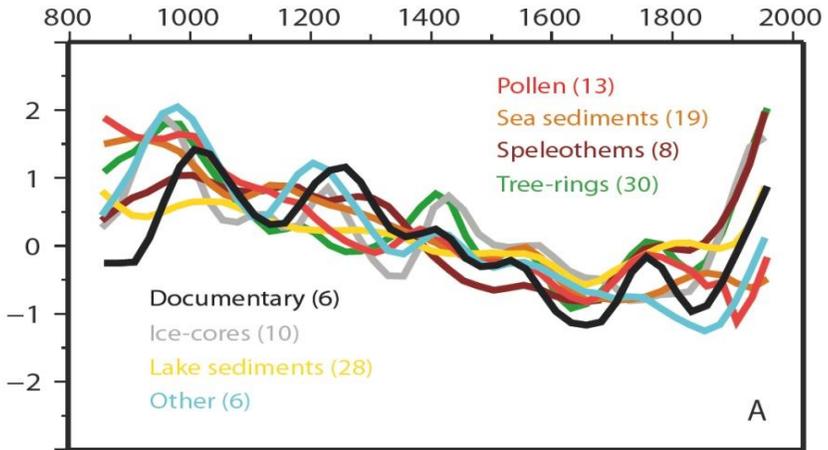


Рис. 79. Аномалии приземной температуры воздуха на Земле, реконструированные с использованием различных данных Ljungqvist и др., 2012.

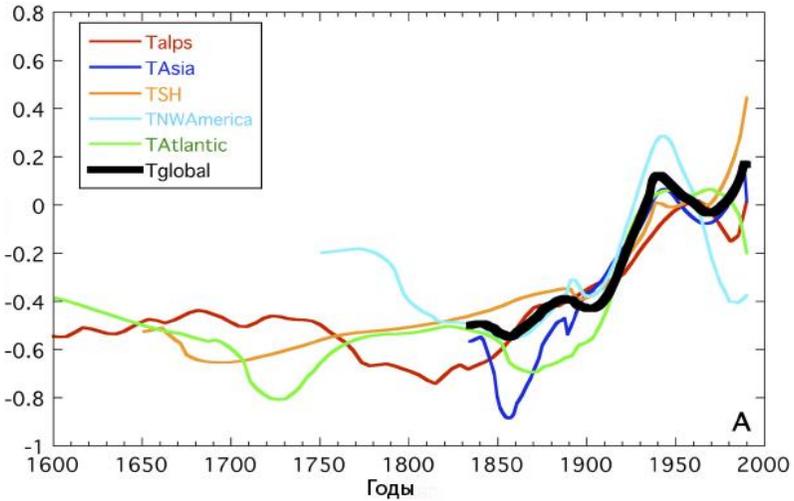


Рис. 80. Аномалии среднегодовой температуры воздуха в ледниковых районах мира (Oerlemans, 2005).

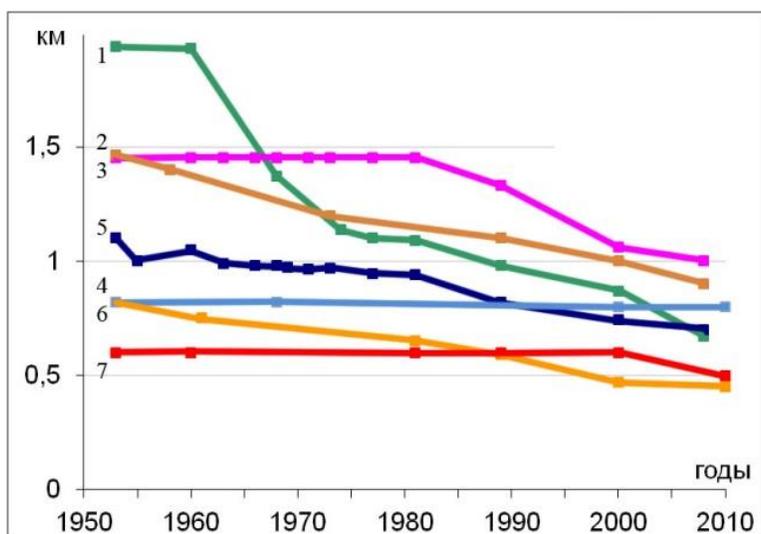
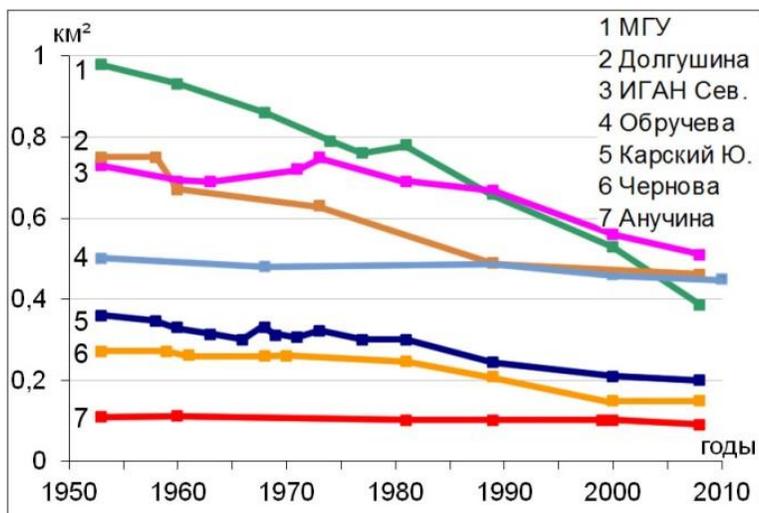


Рис. 81. Колебания площади и длины опорных ледников Полярного Урала.

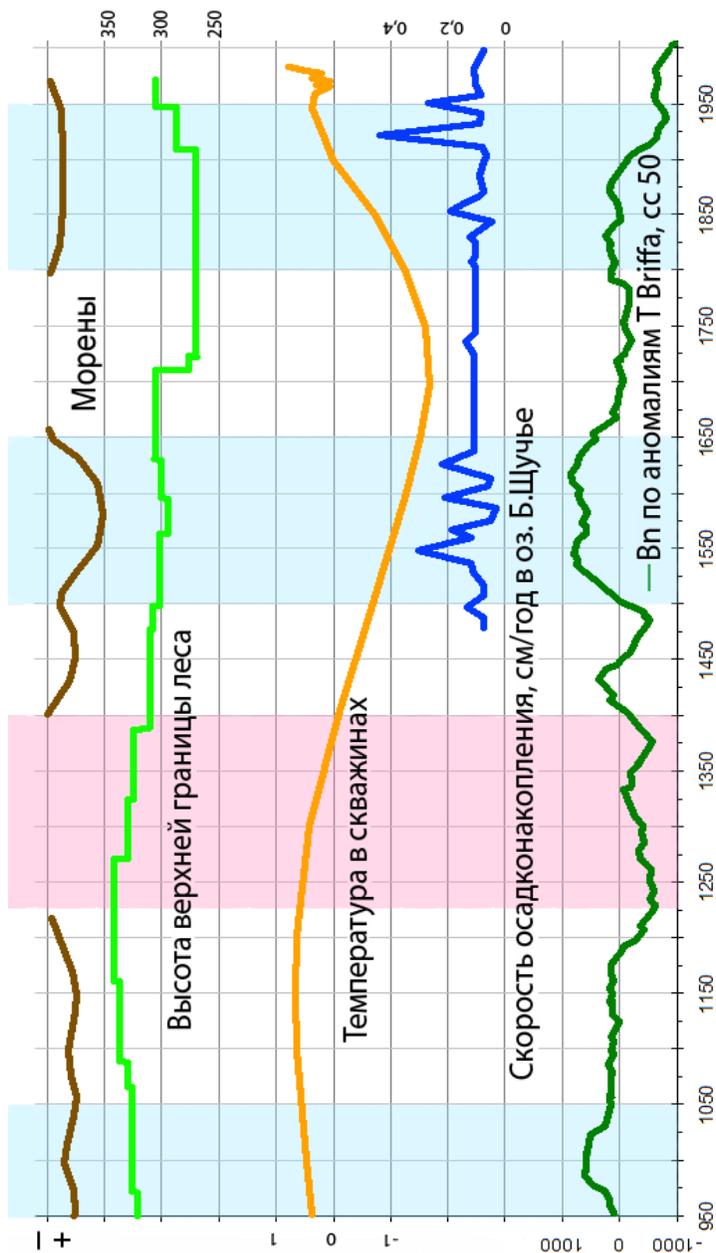


Рис. 82. Изменения баланса массы ледника ИГАН, скорости осадконакопления в оз. Б. Щучьем (Большиянов, 2006), аномалии температуры в скважинах (Demezhko и др., 2007), высота верхней границы леса (Shiyatov, 2003) и периоды формирования морен.

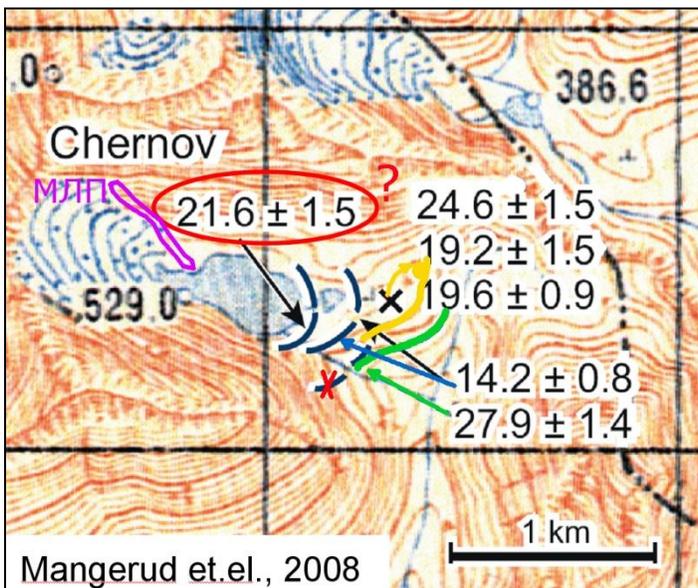


Рис. 84. Фрагмент топокарты 1:100000 предполя ледника Чернова, с датировками морен (Mangerud и др., 2008 с изменениями).

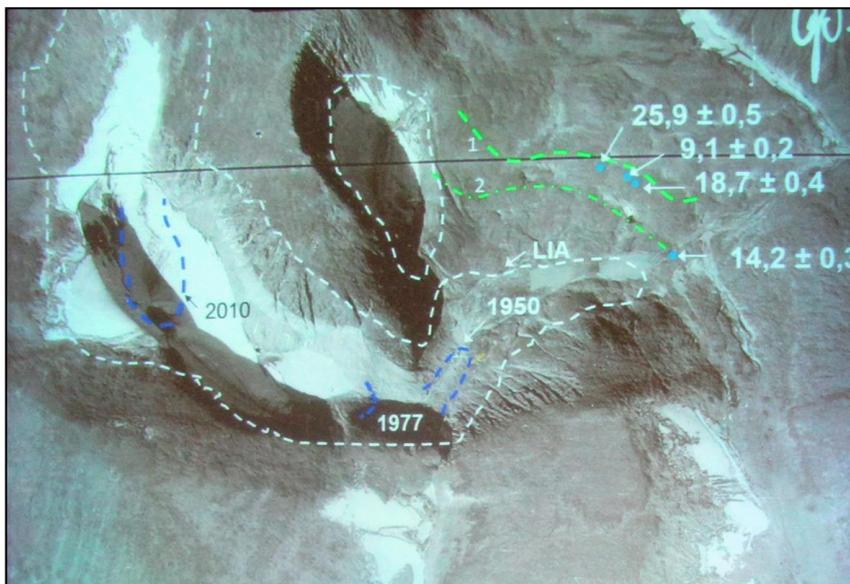


Рис. 85. Предполя ледника Чернова, с датировками морен (Svendson и др., 2011).

## Заключение

В работе приведена подробная характеристика оледенения Полярного Урала, изложена история его изучения и обобщены имеющиеся сведения о ледниках. На основе комплексного подхода и применения современных методов исследований получены новые данные об оледенении Полярного Урала. На основании выполненных исследований сделаны следующие выводы:

Общее состояние ледников Полярного Урала, находящихся в условиях, близких к пределу своего существования, определяется влиянием локальных орографических и фоновых климатических факторов. Это предопределяет приуроченность ледников к западному макросклону. Ледники Полярного Урала существуют ниже климатической снеговой линии, благодаря преимущественно метелевому и лавинному перераспределению снега и его повышенной концентрации в отрицательных формах рельефа.

Эволюция ледников Полярного Урала проявляется в их приспособлении к меняющимся условиям климата и рельефа. Это вызывает изменение их форм и размеров: каровые ледники больше сокращаются в плане и переходят в более устойчивые – карово-присклоновые. Ледники отступают с разной скоростью, некоторые распались или исчезли. Наибольшая деградация отмечена на ледниках, оканчивающихся в приледниковых озерах, что связано с климатическими изменениями опосредованно. В последующие годы, при сохранении климатического тренда к потеплению, ледники Полярного Урала продолжают сокращение, особенно каровые и оканчивающиеся в озерах, некоторые исчезнут. Присклоновые ледники, залегающие у стенок каров, могут находиться в стационарном состоянии благодаря лавинному питанию и восстановлению равновесия с климатом. При деградации малых ледников в карах изменяется вектор геологической деятельности и происходит формирование конечно-боковых морен.

Проведенные нами исследования показали, что современное оледенение Полярного Урала представлено малыми (менее 1 км<sup>2</sup>) ледниками карового и присклонового типов. По Каталогу ледников

СССР (1966) был выделен 91 ледник. В результате деградации оледенения за 1964-2011 г. 10 ледников (№№ 31-42, 46, 48, 49, 54, 61, 68, 70, 132) исчезли. На основании дешифрирования аэрофото- и космических снимков, а также полевых исследований в трудно доступных и мало изученных горных районах открыты 5 новых ледников, ранее неизвестных. Таким образом, в настоящее время на Полярном Урале всего выделено 76 малых ледников: из них 40 каровых и 36 присклоновых. Площадь оледенения с 1964 по 2011 гг. сократилась на 5 км<sup>2</sup> и составляет 15 км<sup>2</sup>.

Для наиболее изученных ледников Полярного Урала – ИГАН и Обручева рассчитаны величины баланса массы, отражающие эволюцию оледенения и их реакцию на климатические изменения за последние 30 лет после прекращения инструментальных наблюдений в 1981 г. С 1974 г. среднегодовой баланс массы ледников отрицательный. Среднее по площади суммарное понижение поверхности ледников Обручева и ИГАН за период 1963-2008 гг. достигает 20 и 16,5 м, соответственно. По нашей оценке, уменьшение объема ледника ИГАН в 1964-2008 гг. составило 134 тыс. м<sup>3</sup>.

По данным гляциогеооморфологических и лихенометрических исследований на ледниках Чернова, Ю. Карского, Щучьего, Тронова, Пальгова определен возраст морен, сформированных в малый ледниковый период. Выделяются периоды формирования морен в начале тысячелетия, около 1500-х и 1600-х гг., а также в XIX веке. По результатам повторных замеров лишайников *Rhizocarpon geographicum* уточнены скорость их роста в 1999-2010 гг. и возраст морен ледников Обручева, Анучина и Шумского.

Выполнена реконструкция баланса массы опорного ледника ИГАН, отражающая эволюцию оледенения исследуемой территории. Установлено, что в последнее тысячелетие ледники Полярного Урала имели общую направленность колебаний. Максимальное увеличение массы и динамики ледников за последнее тысячелетие на Полярном Урале произошло в XVII веке, что установлено на основании датирования морен и реконструкции баланса-массы. Выявлены периоды потепления и сокращения

ледников в последнем тысячелетии в XII и XIV веках. Начиная с XIX века, ледники постепенно сокращаются и к настоящему времени значительно деградировали. В XX веке наиболее значительное отступление ледников произошло в 1959-1965 гг., а затем с 1997 г. по 2008 г. С 2009 г. темпы сокращения ледников замедлены.

Темпы и направленность колебаний ледников хорошо коррелируются с глобальными изменениями температуры воздуха. Реакции различных ледников на внешние изменения зависят от широкого комплекса географических факторов. Основные предпосылки флуктуаций ледников – колебания климата, выражающиеся в изменении температуры воздуха и снежности, а также морфология ледников и рельеф подстилающего ложа, изменяющиеся при отступании ледников.

Проведенные исследования позволили решить поставленные задачи, и выявили вопросы, требующие новых исследований. Необходимо продолжить прямые полевые наблюдения за колебаниями ледников, исследование озерных отложений для реконструкции оледенения в голоцене с применением современных дистанционных методов и технологий.



## **Приложения**

### Приложение 1.1. Среднемесячная температура воздуха, измеренная на м/ст Б. Хадата

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1957								13,3	5,4	-6,4	-22	-15,6
1958	-16,3	-20,5	-23,6	-13,8	-6	4,2	10,9	7	-0,2	-3,6	-10,8	-26
1959	-15,4	-16,4	-11,5	-14,4	-1,4	5,9	13,2	11,1	4,9	-6,7	-9,4	-15
1960	-22	-26,7	-23,6	-8,8	-4,1	4,8	12,1	7,5	3,8	-7,2	-15,3	-11,6
1961	-16,7	-17	-8,1	-10,3	-4,2	3,6	14	11	3,2	-4,2	-13	-18,1
1962	-15,3	-13,3	-14,3	-5,3	-0,2	5,4	15	8,7	6,2	-3,7	-8,3	-18,7
1963	-19,3	-19,3	-24,3	-9,6	1,2	7,6	11,6	9,1	2,5	-1,9	-14	-21,9
1964	-25,80	-17,7	-20,5	-15,7	-3,4	4,7	14,2	8,3	3,5	-3,1	-20	-12
1965	-18,30	-19,1	-12,8	-9,6	-5,5	3,1	11,8	10,4	2,4	-7,9	-19,8	-13,3
1966	-20,80	-29,8	-18,4	-10,1	-3,1	3,2	11,5	9,1	2,8	-9,7	-9,6	-16,5
1967	-23,4	-16,2	-6,6	-2,6	-3,7	4,1	13,8	11	3,7	-1	-4,6	-13,2
1968	-19,4	-15,3	-10,2	-13,2	-3,2	1,5	7	8,3	1,2	-5,4	-22,7	-21,9
1969	-25,1	-21,8	-18,1	-11,8	-7,3	2,7	12,5	6,8	2,8	-5,9	-6,6	-13,2
1970	-23,3	-18,5	-11,5	-12,3	-6,1	1,7	11	6,6	6,5	-6,4	-13	-15,6
1971	-19	-22,9	-16,2	-13,9	-2,7	1,9	10,3	8,4	4,5	-7,8	-9,3	-15,3
1972	-22,3	-16,6	-17,4	-8,3	-7,7	4,4	10,1	9,3	1,5	-3,7	-20,1	-15,3
1973	-23,3	-13,3	-13,7	-6,9	-2,2	4,7	10,6	11,5	1,9	-5,4	-11,8	-17,9
1974	-19,6	-23,1	-12,5	-10,6	-5,8	3,5	14,7	9,9	5,1	-6	-20,9	-9
1975	-16,3	-20,2	-14,4	-7,5	-4,5	2,4	9,9	8,9	6,6	-7,2	-13,6	-13,2
1976	-20,2	-19,6	-11,7	-4,6	-3,3	4,9	12,7	12,3	4,5	-10,4	-7,8	-12,4
1977	-22,3	-28,2	-18,8	-4,5	0,1	8,5	12,7	10,6	4,2	-11,3	-6,6	-15,7
1978	-17,9	-20,1	-14,6	-16,3	-5,7	1,4	10,7	7,2	2,8	-6,4	-11,3	-24,2
1979	-23,6	-26,7	-21,3	-13,6	-1,7	3	11,6	10,1	6,5	-7,4	-9,7	-16,9
1980	-22,1	-13,8	-14,3	-8,1	-3,5	4,1	9,1	7	3,75			

Жирным выделены значения, реконструированные по связи с Воркутой.

Значения, не выделенные цветом, публикуются впервые, предоставлены А.П. Волошиной.

Значения, выделенные курсивом опубликованы в [50], ранятся с опубликованными в [134].

## Приложение 1.2. Среднемесячные осадки, измеренные на м/ст Б. Хадата

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1957								94	223	36	38	38
1958	51	35	47	60	24	92	68	158	71	54	64	30
1959	58	53	116	43	82	55	59	73	136	40	30	80
1960	28	44	17	39	19	44	10	86	110	28	60	42
1961	72	39	59	78	91	39	46	53	180	55	78	70
1962	100	215	55	74	89	101	66	58	77			
1963												
1964												
1965				32,4	35,4	33,3	174,6	133				
1966						72	155	114				
1967			93	167	51	56	39	17	108	194	63	39
1968	13	43	94	39	47	39	116	191	56	46	27	19
1969	36	36	58	54	13	76	78	68	93	14	41	37
1970	55	20	35	45	57	37	35	30	70	100	40	31
1971	63	4	26	27	47	83	83	252	100	47	129	49
1972	60	98	22	73	36	16	60	98	26	126	24	91
1973	65	30	56	41	46	74	38	97	115	80	54	29
1974	27	33	54	37	31	28	56	41	180	78	20	67
1975	68	37	86	61	63	82	118	146	163	41	58	34
1976	10	75	37	60	31	18	12	104	53	45	114	121
1977	89	11	86	56	70	101	34	32	159	26	89	69
1978	63	82	73	36	42	22	20	14		60	52	72
1979	73	84	56	15	32	24	40	35				

Значения, не выделенные цветом, публикуются впервые, предоставлены А.П. Волошиной, остальные значения приводятся по [134] и [123], за 1965 г. по [216].

## Приложение 2. Некоторые сведения о ледниках Полярного Урала

№ ледника			Название <sup>1</sup>	в.д.	с.ш.	Открытие* и первое обследование	Наземная стереофотограмметрическая съемка 1:5000	Аэрофотосъемка в масштабе				Наличие ледника		
Каталог ледников Урала	Оледенение Урала	МГИ МГГ ПУ						1:17 000	1:30 000	1:60 000 <sup>2</sup>	1:50 000	Карта 1:100 000	Land-sat7 2000г	SPOT5 2009г
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	15	33	<b>Карский</b>	67,8	66,02	1953 Д	1960, 73	1968	VII 1953	VIII 1958	VIII 1989	+	+	+
2	9	-	Троицкого	67,95	65,72	1961				VIII 1958	VIII 1989		+	+
3	10	36	Одинокий	67,95	65,83	1958*, 1963				VIII 1958	VIII 1989		+	+
			ЗА	68,57	66,06	<b>2009</b>				VIII 1958	VIII 1989	+	+	+
4	8	37	Тушинского	68,05	65,85	1958 Д*				VIII 1958			+	+
5	7	43	Терентьева	68,07	65,72	1957 К			VIII 1960	VIII 1958		+	+	+
6	6	42	МГГ	68,05	65,67	1957 К		1973	VIII 1960	VIII 1958		+	+	+
7	5	41	МИИГАиК	68,03	65,68	1957 К		1973	VIII 1960	VIII 1958		+	+	+
8	4	39	Долгушина	68,03	65,63	1957 К		1973	VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+	+
9	3	38	Боча	68,03	65,62	1957 К		1973	VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+	+
10	2	40	Парус	68,05	65,65	1958 Д*		1973	VIII 1960	VIII 1958			+	+
11	1	44	Алешкова	68,15	65,92	1958 Д*			VIII 1960	VIII 1958		+	+	+
12	11	45	Тенгиз	68,13	65,1	1961				VIII 1958		+	+	+
13	12	46	Хуутинский	68,05	66,37	1961				VIII 1958		+	+	+
			13А			<b>2009</b>				VIII 1958				
14	13	35	<b>Щучий</b>	67,9	66,2	1938,53			VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+	+

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
15	14	34	Тронова	67,88	66,17	1938,53			VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+	+
16	16	32	Пальгова	67,82	66,12	1953 Д	1959,60		VII 1953	VIII 1958	VIII 1989	+	+	+
17	18	31	Сынок <sup>3</sup>	67,8	66,08	1953 Д			VII 1953	VIII 1958	VIII 1989	+	+	+
18	17	30	МГУ <sup>3</sup>	67,78	66,05	1953 Д	1959,60,	74, 81	1968	VII 1953	VIII 1958	VIII 1989	+	+
19	37	11	Олений	67,62	66,08	1953	1960,	71, 81		VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+
20	38	10	Станционный	67,62	66,08	1953	1960			VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	нет	нет
21	39	9	Анучина	67,62	66,05	1938,53	1960,	81		VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+
22	35	15	Скрытый	67,67	65,98	1959				VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+
			22А	67,40	65,0		2009			VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+
23	36	16	Авгевича	67,65	65,98	1959				VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+
24	34	19	Авсюка	67,65	65,9	1953 Д	1961			VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+
25	33	20	Шумского	67,65	65,87	1938,53	1961			VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+
26	32	21	Обручева	67,63	65,8	1938,53	1958,59,60,63,69,71,73,81	1968		VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+
27	40	1	ИГАН	67,58	66,03	1953 Д	1958,59,60,63,68,71,73,81	1968		VII 1953, VIII 58, 60	VIII 1958	VIII 1989	+	+
28	41	8	Фотогеодезистов	67,58	66,12	1959	1960			VII 1953, VIII 58, 60	VIII 1958	VIII 1989	+	+
29	42	7	Придорожный	67,57	66,08	1959	1961			VII 1953, VIII 58, 60	VIII 1958		+	+
30	43	2	Медвежий	67,57	66,05	1953	1960			VII 1953, VIII 58, 60	VIII 1958	VIII 1989	+	+
31	52	-		67,3	66,32	1961				IX 1953			?	нет
32	53	-		67,3	66,33	1961				IX 1953			?	нет
33	54	-		67,3	66,4	1961				IX 1953			?	нет
34	55	-		67,3	66,43	1961				IX 1953			?	нет
35	56	-		67,3	66,47	1960 Т*				IX 1953			+	нет
36	57	-		67,27	66,45	1960 Т*				IX 1953			?	нет
37	58	-		67,27	66,35	1960 Т*				IX 1953			?	нет
38	59	-		67,27	66,32	1960 Т*				IX 1953			?	нет
39	60	-		67,27	66,3	1960 Т*				IX 1953			?	нет
40	61	-		67,22	66,95	1960 Т*				IX 1953			нет	нет
41	62	-		67,17	66,07	1960 Т*				IX 1953			нет	нет

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
42	63	–		67,15	66,02	1960 Т*			IX 1953				нет	нет
43	49	–	Пайпудынский <sup>4</sup>	67,22	65,38	1960 Т*			VIII 1953				+	+
44	50	–		67,18	65,33	1960 Т*			VIII 1953				+	+
45	51	–		67,17	65,27	1960 Т*			VIII 1953				+	+
46	65	–		66,95	65,15	1960 Т			VIII 1953				нет	нет
47	64	–	Собский	66,93	65,22	1960 Т			VIII 1953				+	+
48	67	–		66,97	65,4	1960 Т*			VIII 1953				нет	нет
49	66	–	Кеммериха	66,97	65,37	1960 Т*			VIII 1953				+	нет
50	68	–		66,93	65,42	1960 Т*			VIII 1953				+	+
51	69	–	Райизский <sup>5</sup>	66,9	65,43	1971 Т			VIII 1953				+	+
52	70	–	Заварицкого <sup>5</sup>	66,95	65,35	1971 Т			VIII 1953				+	+
53	71	–		66,93	65,3	1960 Т*			VIII 1953				+	+
54	72	–		66,88	65,3	1960 Т*			VIII 1953				+	нет
55	73	–		66,92	65,17	1960 Т*			VIII 1953				+	+
56	74	–		66,9	65,17	1960 Т*			VIII 1953				+	+
57	75	–		66,83	65,15	1960 Т*			VIII 1953				+	+
58	76	–		66,73	64,57	1960 Т*			VII 1957				+	+
59	77	–		66,7	64,6	1960 Т*			VII 1957				+	+
60 <sup>5</sup>	78 <sup>5</sup>	–	Бурхойлинский <sup>6</sup>	66,72	64,47	1960 Т*			VII 1957				+	+
61 <sup>5</sup>	79 <sup>5</sup>	–		66,72	64,57	1960 Т*			VII 1957				+	+
62	80	–		66,7	64,47	1960 Т*			VII 1957				+	+
63	81	–	Пайерский	66,72	64,4	1960			VII 1957				+	+
64	82	–	Лекхойлинский	66,7	64,4	1960			VII 1957				+	+
65	83	–	Падалки	66,7	64,35	1930, 1960			VII 1957				+	+
66	84	–		66,65	64,35	1960			VII 1957				+	+
67	85	–		66,62	64,33	1960 Т*			VII 1957				+	+

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
68	89	–	Хойлинский	66,57	63,88	1960 Т*			VII 1957				+	нет
69	90	–		66,5	63,8	1960 Т*			VII 1957				+	+
70	91	–	Лагортинский	66,42	63,63	1960 Т*			VII 1957				?	нет
–	–	–	70А	67,29	63,27	<b>2009</b>			VII 1957			+	+	+
123	87	–	Маленький <sup>7</sup>	66,6	63,72	1940			VII 1957				+	+
124	88	–	Софронова	66,58	63,73	1940			VII 1957				+	+
125	86	–	Кечпельский	66,63	63,98	1960 Т*			VII 1957				+	+
126	48	–	Бадьяшорский			1960 Т*			VII 1953	VIII 1958			+	+
			й	67,27	65,32									
127	44	3	Баклунда	67,57	66	1958	1961		VII 1953, VIII 58, 60	VIII 1958		+	+	+
128	45	4	Кулика	67,55	66,02	1958	1961		VII 1953, VIII 58, 60	VIII 1958		+	+	+
129	46	5	Б.Усинский	67,56	66	1958*, 59	1961	1968	VII 1953, VIII 58, 60	VIII 1958		+	+	+
130	47	6	Ленточный	67,53	65,97	1959			VII 1953, VIII 58, 60	VIII 1958			+	+
131	31	22	<b>Чернова</b>	67,62	65,77	1958 Д	1961,	81	1968	VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+
132	30	25	Новый <sup>8</sup>	67,63	65,58	1958			VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989		+	нет
133	27	26	<b>Берга</b>	67,65	65,72	1949, 1960			VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989		+	+
134	28	24	Ковальского	67,65	65,73	1949, 1960			VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+	+
135	29	23	Лепехина	67,63	65,77	1958 Д*, 1960			VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989		+	+
136	26	18	Калесника	67,66	65,88	1953 Д, 59			VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989		+	+
137	25	17	Хабакова	67,67	65,92	1960			VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+	+
138	22	14	Прилепыш	67,68	66,08	1958*, 59			VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989		+	+
139	23	13	Рогатый	67,69	66,09	1958*, 59			VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989		+	+
140	24	12	М.Усинский	67,65	66,13	1959			VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989		+	+
141	21	27	Федорова	67,75	66,12	1953 Д			VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+	+
142	20	28	Малыш	67,74	66,07	1953 Д			VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+	+
143	19	29	Маркова	67,77	66,05	1953 Д			VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+	+
			144	65,45	62,11	<b>2009</b>			VII 1953, VIII 1960	VIII 1958	VIII 1989	+	+	+

## Примечания к приложению 2

На Полярном Урале на 2013 г. 76 ледников (91 на 1964 г., 20 ледников исчезли, 5 новых ледников выявлены автором).

Ледники Щучий, Тронова, Обручева, Анучина, Шумского были зарисованы А.В. Хабаковым в 1938 г., Берга и Ковальского открыты М.Н. Пархановым в 1949 г., обследованы и названы Л.Д. Долгушиным в 1953 г.

\* - ледники открыты и измерены по аэрофотоснимкам 1953, 1957, 1958 гг. Л.С. Троицким в 1958–60 гг. и до 1963 г., и позже не посещались.

1 – в международной базе данных в шифре SU5A03003000 последние цифры изменяются согласно № в Каталоге 1966 г.

2 – АФС в 1947 г. – повсеместно на Урале (ледники 1-143).

3 – в «Оледенении...» и в «Каталоге...» ледники Сынок и МГУ на схемах поменяны местами, вероятно правильнее в «Каталоге...».

4 – название приведено только в «Оледенении...».

5 – на топографической карте 1:200000 ледник Райизский назван ледник Романтиков, а ледник Заварицкого ледником Топографов.

6 – в «Оледенении...» каровый ледник 78 назван «Бурхойлинский» и на схеме расположен в нижней части долины, что ошибочно, поскольку в «Каталоге...» на его месте изображен присклоновый ледник с номером 61, а выше по течению изображен каровый ледник № 60, который и является «Бурхойлинским», т.е. в «Оледенении...» ледник «Бурхойлинский» на схеме обозначен № 79.

7 – назван Л.Д. Долгушиным в сборнике МОИП (1958 г).

8 – ледник Новый в Каталоге указан ошибочно в верховьях р. Рузькустьевис, однако залегал в соседнем каре с ледником Ковальского (рис. 88 в томе Гляциогеоморфология МГИ МГТ) в верховье р. Б. Бадьяшор. к 2000 г. стоял.

В 1964 г. в Каталоге указывалось, что ледники Карский и Медвежий состоят из двух частей, ныне они распались на отдельные ледники.

### Приложение 3.

### Реконструированные значения Вп ледника ИГАН, мм в. э.

год	Bw	Bs	Bп	год	Bw	Bs	Bп
1813/14	1810	2497	-687	1862	1688	2265	-577
1815	2182	2406	-224	1863	2935	2705	230
1816	2334	2553	-218	1864	2783	3091	-308
1817	2539	2497	42	1865	2285	2515	-231
1818	1704	2406	-703	1866	2832	2744	88
1819	1954	2571	-617	1867	1536	2571	-1035
1820	2121	2686	-564	1868	2346	2965	-620
1821	2425	2609	-184	1869	2517	3375	-859
1822	3231	2515	715	1870	2463	2883	-420
1823	2528	3007	-479	1871	1552	2534	-982
1824	2007	2647	-640	1872	2175	2534	-359
1825	3003	3070	-67	1873	1806	2764	-958
1826	2889	3353	-464	1874	2239	2705	-466
1827	3246	2924	322	1875	2026	2628	-602
1828	1912	2686	-773	1876	1719	2904	-1185
1829	2129	2744	-615	1877	1525	2424	-899
1830	2254	3375	-1121	1878	2707	2553	154
1831	2585	2265	320	1879	2486	2163	323
1832	2285	2214	71	1880	1928	2534	-606
1833	2083	2609	-526	1881	1787	2764	-977
1834	2281	2353	-72	1882	2536	2479	57
1835	2650	1938	712	1883	2080	1615	464
1836	2247	2016	231	1884	1821	1030	791
1837	2441	2231	210	1885	2102	1147	956
1838	2026	2163	-137	1886	1647	1588	59
1839	2437	3353	-916	1887	2353	3535	-1182
1840	1855	3007	-1151	1888	1320	2180	-860
1841	1977	3353	-1376	1889	2121	1801	320
1842	2365	2744	-380	1890	1916	2283	-366
1843	2437	2147	290	1891	2034	941	1093
1844	2665	2945	-280	1892	1723	2647	-925
1845	1696	2388	-692	1893	2224	1985	239
1846	2357	2353	4	1894	2372	2424	-52
1847	1776	2924	-1149	1895	1278	1671	-393
1848	2555	2265	289	1896	2330	2666	-336
1849	2087	2442	-355	1897	2581	2497	84
1850	1973	2553	-579	1898	1719	2783	-1065
1851	2156	3420	-1265	1899	1654	1561	93
1852	2589	2114	475	1900	2946	2666	280
1853	2213	2783	-571	1901	2650	1574	1075
1854	2418	2744	-326	1902	1027	2442	-1415
1855	2634	2048	586	1903	1688	1657	31
1856	1723	1953	-231	1904	2817	3582	-765
1857	1931	2000	-69	1905	2809	2130	679
1858	2137	2214	-77	1906	2266	2965	-699
1859	2558	2442	116	1907	3189	2628	561
1860	2532	2335	197	1908	2152	2764	-612
1861	2175	3264	-1089	1909	1890	3070	-1180

год	Bw	Bs	Bn
1910	2737	2705	32
1911	1753	2945	-1192
1912	2004	1214	790
1913	2152	2460	-309
1914	1931	2515	-584
1915	2821	5148	-2327
1916	1909	1728	181
1917	1711	1742	-31
1918	2178	1907	272
1919	2213	2571	-359
1920	2805	3198	-393
1921	2391	3605	-1214
1922	2410	3821	-1411
1923	2197	4147	-1950
1924	3067	2317	750
1925	2779	1136	1643
1926	2551	1728	823
1927	2289	2724	-436
1928	2087	2945	-858
1929	1992	1985	8
1930	2555	2016	538
1931	2289	3582	-1293
1932	2847	2724	123
1933	2061	2147	-86
1934	2566	2000	566
1935	3284	2197	1087
1936	2467	2705	-238
1937	3113	2666	447
1938	2927	3049	-122
1939	2380	2265	114
1940	2395	3353	-958
1941	1510	1861	-351
1942	2266	3353	-1087
1943	3216	3821	-605
1944	3219	2097	1122
1945	3147	3535	-388
1946	1305	2370	-1066
1947	2558	1742	816
1948	2817	2335	482
1949	2771	1602	1169
1950	2726	2197	529
1951	2748	2163	585
1952	2718	2424	294
1953	2235	4045	-1810
1954	2722	3353	-631
1955	3064	2724	339
1956	2315	3177	-861
1957	2357	3582	-1225
1958	1536	1861	-325
1959	2399	3398	-999
1960	1677	1891	-214

год	Bw	Bs	Bn
1961	2783	3264	-481
1962	3178	3286	-108
1963	2042	2883	-842
1964	1548	2571	-1024
1965	2441	2571	-131
1966	1445	2065	-619
1967	2881	3091	-210
1968	3166	1214	1953
1969	818	1615	-797
1970	2444	1343	1101
1971	2038	1643	395
1972	2129	2265	-136
1973	2429	2479	-50
1974	2045	3466	-1420
1975	2425	1615	810
1976	2498	3264	-766
1977	2414	3398	-984
1978	2061	1380	661
1979	1407	2048	-641
1980	2308	1368	940
1981	2661	3264	-603
1982	2988	2904	84
1983	2631	2686	-55
1984	3048	2965	83
1985	1426	2147	-721
1986	2258	1657	601
1987	2023	2300	-277
1988	2365	2764	-399
1989	2653	4020	-1366
1990	2733	4357	-1624
1991	2422	3220	-798
1992	2448	1772	677
1993	2372	4942	-2570
1994	2330	3821	-1490
1995	3729	2764	965
1996	2634	2265	369
1997	2916	1295	1620
1998	1392	3375	-1983
1999	1206	2000	-795
2000	3079	3969	-891
2001	2349	2945	-595
2002	2410	2283	128
2003	2148	3919	-1771
2004	2650	3870	-1220
2005	2794	3398	-604
2006	2935	3264	-329
2007	2821	4199	-1379
2008	3193	3398	-205
2009	2729	1633	1097
2010	1764	941	823
2010/11	3105	278	2828

## Литература

1. Авгевич В.И. Об основных принципах подготовки комплексов картографических и фототопографических данных по отдельным ледникам. // МГИ. Хрон., обс., вып. 4. – М.: ВИНТИ, 1962, с. 131-133.
2. Адаменко В.Н. Опыт изучения условий существования ледников Полярного Урала за 260 летний период по данным дендрохронологического анализа. // Гляциологические исследования, №9. – М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 103–118.
3. Адаменко В.Н. Опыт применения дендрохронологических данных в гляциологии. // МГИ. Хрон., обс., вып.8 – М.:ВИНТИ, 1963, с. 101-103.
4. Адаменко В.Н., Околов В.Ф. Синоптические условия аккумуляции снега и периодов с лавинной опасностью, связанной с возможностью схода мокрых лавин (по материалам Хибин и Полярного Урала). // Тезисы докл. I Всес. совещ. по изуч. процессов формирования и схода лавин и совершенств. методов их прогнозирования. – Ташкент, 1963, с. 109–110.
5. Адаменко В.Н., Юрченко Ю.А. Дендроиндикация климатических условий в районах оледенения Полярного Урала и южного Тянь-Шаня. // МГИ. Хрон., обс., вып. 71, М.: ВИНТИ, 1991, с. 159-164.
6. Алешков А.Н. Открытие ледников на Северном Урале. // Природа, 1930, № 1. с. 84-86.
7. Алисов Б.П. Климат СССР. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1956, 128 с.
8. Алисов Б.П., Земцова А.И., Мячкова Н.А., Несмелова Е.И. Сорокина В.Н. Климатологический практикум. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1977, 121 с.

9. Ананичева М.Д. Опасность ледниковой деятельности. // Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций УФО РФ. – М.: МЧС, 2008, с. 62-63.
10. Ананичева М.Д., Глазовский А.Ф., Котляков В.М., Михаленко В.Н., Носенко Г.А., Осипова Г.Б., Рототаева О.В., Соломина О.Н., Цветков Д.Г. Неустойчивость современного оледенения, ледниковые катастрофы. // Изменение окружающей среды и климата. Природные и связанные с ними техногенные катастрофы: 8 т. / Т.3 Опасные природные явления на поверхности суши: механизм и катастрофические следствия. – М.: ИГ РАН, ИФЗ РАН, 2008, с.11-29.
11. Ананичева М.Д., Кононова Н.К. Связь температуры воздуха, осадков и баланса ледников с макроциркуляционными процессами на северо-востоке Сибири и Урале//МГИ, вып. 103 – М.: РАН, 2007,с.58–67.
12. Архипова Н. Имена ученых на карте Урала. изд. 2 – Екб., 2002, 56 с.
13. Атлас Арктики – М.: ГУГК, 1985. 204 с.
14. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. – М.: РАН, 1997, 392 с.
15. Атлас Ямало-Ненецкого Автономного округа – Омск: Изд-во ФГУП «Омская картографическая фабрика», 2004, с.170–171.
16. Баланс массы и колебания ледников Советского Союза за 1958-1985 гг. Материалы наблюдений. Обобщение Т.Ю. Тюлиной. // МГИ. Хрон., обс., вып. 62. – М.: ВИНТИ, 1988, с.224-240.
17. Большианов Д.Ю. Пассивное оледенения Арктики и Антарктиды. – СПб.: ААНИИ, 2006, 296 с.
18. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. – М.: Мысль, 1988, 522 с.
19. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Летопись необычайных явлений природы за 2,5 тысячелетия. – Л.: Гидрометеиздат, 2003, 536 с.
20. Боровинский Б.А. Геофизические исследования ледников Полярного Урала // МГИ. Хрон., обс., вып.9. – М.: АН СССР,1964, с. 227-230.

21. Боч С.Г. Ледничок Малый Выль-Юи некоторые данные по вопросу о числе и характере оледенений Полярного Урала. // Бюлл. Комиссии по изучению четвертичного периода, №14, 1949, с. 113-120.
22. Брель В.А. Слушаем пульс ледника // М.: Вокруг света. 1974. № 3 (2582), с. 1-3.
23. Бруханда В.И., Корнеева С.А., Шанин С.А. Кадастр лавин СССР / Отв. ред. Л.А.Канаев. Т.3 – Северный край, Ч.1 – Полярный Урал. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986, с. 19-26.
24. Бруевич П.Н. Наземная стереофотограмметрическая съемка ледников Полярного Урала. // Исследования ледников и ледниковых районов. вып. 3. – М.: Изд-во АН СССР, 1963, с. 229-235.
25. Водный кадастр СССР. Метеорологические данные. Осадки. т.2, в.1. Европейская часть СССР до 59°с.ш. – М-Л.: Гидрометеоиздат, 1939, 340с.
26. Войтковский К.Ф. Реакция горных ледников на изменения климата. // МГИ, вып. 86. – М.: РАН, 1999, с. 128-132.
27. Волошина А.П., Голубев Г.Н., Котляков В.М., Лучининов В.С., Тюлина Т.Ю., Ходаков В.Г., Цветков Д.Г., Черкасов П.А. Школа-семинар по гляциологии на Полярном Урале // МГИ. Хрон., обс., вып. 27. – М., ВИНТИ, 1976. с. 17-23.
28. Волошина А.П. Временная изменчивость метеорологических параметров в разных ледниковых районах СССР. // МГИ. Хрон., обс., вып. 34. – М.: ВИНТИ, 1978. с. 178-185.
29. Волошина А.П. Колебания внешнего массообмена ледников Полярного Урала в 1959/60–1976/77 гг. // МГИ. Хрон., обс., вып. 41. – М.: ВИНТИ, 1981, с. 149-162.
30. Волошина А.П. Пути решения гляциометеорологических задач при изучении колебаний ледников (по исследованиям на Полярном Урале). – М.: ВИНТИ, №3707-81, 1981, 168 с.
31. Волошина А.П. Некоторые итоги исследования баланса массы ледников Полярного Урала. // МГИ, вып. 61. – М.: ВИНТИ, 1988. с. 48-51.

32. Волошина А.П. Метеорология горных ледников. // МГИ, вып.92. – М.: РАН, 2002, с.3-148.
33. Ворончихина Е.А., Дылдин И.Ю., Мышлявцева С.Э., Чельшев С.Р. К динамике горного оледенения Урала в условиях глобального потепления. // Географический вестник Перм ГУ. – Пермь.: Перм ГУ [электронный ресурс], 2008. 9 с.
34. Воскресенская Е.Н., Ананичева М.Д. Связь изменчивости баланса массы ледников Европейского региона с глобальными климатическими процессами. // МГИ, вып. 101. – М.: РАН, 2006, с. 106–110.
35. География лавин / под ред. С.М. Мягкова, Л.А. Канаева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992, 332 с.
36. Глазовский А.Ф., Носенко Г.А., Цветков Д.Г. Ледники Урала: Современное состояние и перспективы эволюции. // МГИ, вып. 98. – М.: ИГ РАН, 2005, с.207-213.
37. Глазовский А.Ф. Первый опыт обработки космических снимков ледниковых районов России в рамках проекта GLIMS. // МГИ, вып.94. – М.: ИГ РАН, 2003, с.194–202.
38. Глазырин Г.Е. Горные ледниковые системы, их структура и эволюция. – Л.: Гидрометеиздат, 1991, 109 с.
39. Гляциологический словарь / Под ред. член-корр. АН СССР В.М. Котлякова – Л.: Гидрометеиздат, 1984, 526 с.
40. Горланова Л.А. Дендроклиматический анализ можжевельника сибирского (*juniperus sibirica burgsd.*) на Полярном Урале. / Автор. дисс. на соиск. уч. ст. к.б.н. – Екатеринбург, 2009. 22 с.
41. Гохман В.В., Чарушников Ю.А. Наблюдения в горно-ледниковом бассейне р. Большая Хадата на Полярном Урале в 1975/76 балансовом году. // МГИ. Хрон., obs., вып. 31. – М.: ВИНТИ, 1977, с. 171-174.
42. Гохман В.В. Исследования в горно-ледниковом бассейне р. Большая Хадата на Полярном Урале в 1976/77 балансовом году. // МГИ. Хрон., obs., вып. 33. – М.: ВИНТИ, 1978, с. 212-215.
43. Гохман В.В. Наблюдения в горно-ледниковом бассейне р. Большая Хадата на Полярном Урале в 1977/78 балансовом году. // МГИ. Хрон., obs., вып. 39. – М.: ВИНТИ, 1980, с. 194-199

44. Гохман В.В., Щепин Г.Б. Водный баланс р. Б. Хадата и баланс массы ледников Полярного Урала в 1978/79 балансовом году. // МГИ. Хрон., обс., вып. 42. – М.: ВИНТИ, 1982, с. 200-204.
45. Гросвальд М.Г., Котляков В.М. Ледники СССР и исследование бюджета их массы // Геофиз. бюл., № 21. – М.: Наука, 1970, с.3-16.
46. Гуськов А.С., Ходаков В.Г. Вещественный баланс ледников Полярного Урала в 1963/64 бюджетном году. // МГИ. Хрон., обс., вып. 11. – М.: ВИНТИ, 1965, с. 253-254.
47. Гуськов А.С., Ходаков В.Г. Особенности формирования вещественного баланса ледников Полярного Урала в 1964/65 бюджетном году. // МГИ. Хрон., обс., вып. 12. – М.: ВИНТИ, 1966, с. 265-267.
48. Гуськов А.С. Вещественный баланс ледников Полярного Урала в 1965/66 бюджетном году. // МГИ. Хрон., обс., вып. 14. – М.: ВИНТИ, 1968, с. 301-303.
49. Гуськов А.С. Наблюдения в репрезентативном гляциальном бассейне р. Б.Хадата и бюджет массы ледников Полярного Урала в 1966/67 году. // МГИ. Хрон., обс., вып. 15. – М.: ВИНТИ, 1969, с. 192-197.
50. Гуськов А.С. Наблюдения в репрезентативном гляциальном бассейне реки Большая Хадата и баланс массы ледников Полярного Урала в 1967/68 бюджетном году. // МГИ. Хрон., обс., вып. 16. – М.: ВИНТИ, 1970, с. 265-271.
51. Гуськов А.С., Ходаков В.Г. Наблюдения в репрезентативном ледниковом бассейне реки Большая Хадата в 1968/69 бюджетном году. // МГИ. Хрон., обс., вып. 18. – М.: ВИНТИ, 1971, с. 164-171.
52. Гуськов А.С. Наблюдения в репрезентативном ледниковом бассейне реки Большая Хадата Полярного Урала в 1969/70 балансовом году. // МГИ. Хрон., обс., вып. 19. – М.: ВИНТИ, 1972, с. 241-244.
53. Гуськов А.С. Наблюдения в репрезентативном ледниковом бассейне реки Большая Хадата Полярного Урала в 1970/71

- балансовом году. // МГИ. Хрон., обс., вып. 20. – М.: ВИНТИ, 1972, с. 208-212.
54. Гуськов А.С. Исследования в репрезентативном горно-ледниковом бассейне р. Большая Хадата на Полярном Урале в 1971/72 балансовом году. // МГИ. Хрон., обс., вып.23 – М.: ВИНТИ, 1974, с. 193-197.
55. Гуськов А.С. Исследования в горно-ледниковом бассейне р. Большая Хадата на Полярном Урале в 1972/73 балансовом году. // МГИ. Хрон., обс., вып. 25. – М.: ВИНТИ, 1976, с. 169-175.
56. Гуськов А.С. Исследования в репрезентативном горно-ледниковом бассейне реки Б. Хадата на Полярном Урале в 1973/74 балансовом году. // МГИ. Хрон., обс., вып. 27. – М.: ВИНТИ, 1976, с. 127-132.
57. Гуськов А.С. Исследования в репрезентативном горно-ледниковом бассейне р. Большая Хадата на Полярном Урале в 1974/75 балансовом году. // МГИ. Хрон., обс., вып. 28 – М.: ВИНТИ, 1976, с.121-125.
58. Данилова Н., Кеммерих А. Времена года. Изд. 2-е доп.–М.: Мысль, 1973, 192 с.
59. Доклад ВМО «Современное состояние полярных исследований. Заявление объединенного комитета Международного совета по науке / Всемирной Метеорологической Организации по Международному полярному году 2007/2008». – Женева, ВМО, 2009, 12 с.
60. Долгушин Л.Д. Новые данные о современном оледенении Урала. // Вопр. географии, в. 15. Физ. география. М., Географгиз, 1949.
61. Долгушин Л.Д. Ледники Урала и некоторые особенности их эволюции. // Вопросы физической географии Урала. М.: МОИП, 1960, с. 33-60.
62. Долгушин Л.Д. Современное наземное оледенение. Справочник. / под. ред. член-корр. АН СССР В.М.Котлякова, Осиповой Г.Б. // МГИ, вып. 88. – М.: РАН, 2000, с. 157–208.
63. Долгушин Л.Д. Оледенение Урала в голоцене и позднем плейстоцене // МГИ. вып. 91. – М.: ИГ РАН. 2001, с. 125-128.

64. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Ледники. – М.: Мысль, 1989, 435 с.
65. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Новые ледники на хребте Тельпос-из. // МГИ, вып. 36. – М.: ВИНТИ, 1979, с. 214–218.
66. Дюргеров М.Б., Поповнин В.В. Реконструкция баланса массы, пространственного положения и жидкого стока ледника Джанкуат со второй половины XIX в. // МГИ. Хрон., обс., вып. 40. – М.: ВИНТИ, 1981, с. 162-172.
67. Жидков В.А. Поля снегозапасов и их подобие на ледниках Полярного Урала. // МГИ, вып. 95. – М.: РАН, 2003, с. 175–177.
68. Жила И.М. Кадастр лавин СССР / Отв. ред. Л.А.Канаев. Т.3 – Северный край, Ч.1 – Полярный Урал. Л.: Гидрометеиздат, 1984, с. 35-41.
69. Загороднов В.С., Зотиков И.А., Барбаш Р.В., Михалев В.И. О термобурении на леднике Обручева. // МГИ. Хрон., обс., вып. 28. – М.: ВИНТИ, 1976, с. 112-118.
70. Зингер Е.М. Есть ли на Урале ледники? //Природно-ресурсные ведомости, №30 (47), 2000, с. 4.
71. Иванов М.Н. Реконструкция колебаний ледника Чернова на Полярном Урале // Сборник II конф. молодых ученых “Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность”. – М.: ИВП РАН, 2008, с. 74–77.
72. Иванов М.Н. Эволюция оледенения Полярного Урала за последние 200 лет // Гляциология в начале XXI века. Материалы Международной научной конференции. – М.: Университетская книга, 2009, с. 186-192.
73. Иванов М.Н. Каталогизация ледников Урала // Материалы Международного молодёжного научного форума “Ломоносов-2010”: Секция География. [Электр. ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2010, с. 1-2.
74. Иванов М.Н. Повторные фотосъемки в горах как эффективный инструмент для мониторинга и устойчивого развития горных территорий в условиях глобальных изменений // Материалы VII Межд. конф. “Устойчивое развитие горных территорий в

условиях глобальных изменений”. [Электронный ресурс] – Владикавказ: СКГМИ, 2010, 3 с.

75. Иванов М.Н. Взаимодействие озёр и ледников Полярного Урала // Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность: сборник IV межд. конф. молодых ученых. – М.: ИВП РАН, 2010. с. 112-116.
76. Иванов М.Н. Морфология морен ледников Полярного Урала как показатель вектора геологической деятельности // Электронный сборник тезисов 5-й Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле. – Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2010, 3 с.
77. Иванов М.Н. Возраст морен ледников Полярного Урала // Квартер во всем его многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Материалы VII Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. – Апатиты, СПб: ГИ КНЦ РАН, 2011. Т. 1., с. 224-226.
78. Иванов М.Н. Особенности сокращения ледника ИГАН на Полярном Урале // Материалы Международного молодёжного научного форума “Ломоносов-2011”: Секция География / Отв. ред. И.А. Алешковский. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2011. ([www.lomonosov-msu.ru](http://www.lomonosov-msu.ru)). с.1-2.
79. Иванов М.Н. Датирование морен ледников Полярного Урала // Материалы Международного молодёжного научного форума “Ломоносов-2012”: Секция География. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2012. с.1-2.
80. Иванов М.Н. Криогенные процессы и явления на Полярном Урале // Десятая Международная конференция по мерзлотоведению (TICOP): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире. Том 5: Расширенные тезисы на русском языке. – Тюмень: Печатник, 2012. с.124-125.
81. Иванов М.Н. Новые данные о лавинах Полярного Урала // Материалы гляциологических исследований – М.: ИГ РАН, 2012-1, с. 17-20.
82. Иванов М.Н. Эволюция оледенения Полярного Урала за последнее тысячелетие // Автореферат на соискание ученой

- степени кандидата географических наук. М.: 11-й формат, 2012. 24 с.
83. Иванов М.Н. Климатические аномалии последнего тысячелетия в горных и полярных регионах России по дендрохронологическим и палеогляциологическим данным // Краткие итоги реализации проекта «Каскадный эффект» последствий климатических изменений в горных и полярных регионах России: сравнительно-географический анализ, обоснование мер по адаптации». – М.: ИГ РАН, 2013. с. 7-14. Соавторы Соломина О.Н., Мацковский В.В., Бушуева И.С.
  84. Ивановский Л.Н. Гляциальная геоморфология гор. – Новосибирск: Наука", 1981, 173 с.
  85. Каплянская Ф.А., Тарноградский В.Д. Гляциальная геология: Методическое пособие по изучению ледниковых образований при геологической съемке крупного масштаба. – С-Пб.: Недра, 1993, 328 с.
  86. Калесник С.В. Очерки гляциологии. – М.: Географгиз, 1963. 551 с.
  87. Каталог ледников СССР, т.3 Северный край, ч.3 Урал (автор Л.С. Троицкий). – Л.: Гидрометеиздат, 1966, с. 1-42.
  88. Кеммерих А.О. Путешествие целой жизни. – М.: МУиК, 2004, 224 с.
  89. Керцелли С.В. По Большеземельской тундре с кочевниками. – Архангельск: Губернская типография, 1911, 132 с.
  90. Климатологический справочник СССР. в.1, ч.1. Температура воздуха. – Л.: Гидрометеиздат, 1956, 562 с.
  91. Климатологический справочник СССР. в.17, ч.1. Температура воздуха, осадки, снежный покров. – Л.: Гидрометеиздат, 1954, 432 с.
  92. Клименко В.В. Климат: непрочитанная глава истории. – М.: Изд-во МЭИ. 2009, 408 с.
  93. Клименко В.В. Холодный климат ранней субатлантической эпохи в северном полушарии. – М.: Изд-во МЭИ, 2001, 144 с.

94. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Осипова Г.Б., Цветков Д.Г. Григорий Александрович Авсюк и гляциологическая фотограмметрия. // МГИ, вып. 103.– М.: РАН, 2007, с. 223-231.
95. Колебания климата за последнее тысячелетие / Под ред. Е.П. Борисенкова. – Л.: Гидрометеиздат, 1988, 408 с.
96. Коваленко Н.В. Режим и эволюция малых форм оледенения. – М.: МАКС Пресс, 2011, 240 с.
97. Кондакова Н.Л. Урал. // Лавиноопасные районы Советского Союза / под ред. проф. Г.К. Тушинского. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970, с. 56-62.
98. Кондакова Н.Л. Урал. // География лавин / под ред. С.М. Мягкова и Л.А. Канаева – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992, с. 155-162.
99. Котляков В.М. Избранные сочинения. Т.2. Снежный покров Земли и ледники. – М.: Наука, 2004, 447 с.
100. Котляков В.М., Чернова Л.П. Аннотированная библиография советской литературы по гляциологии за 25 лет (1956–1980). // МГИ, вып. 48. ч. 1, 1983, 287 с.; вып. 49. ч. 2 – М.: АН СССР, 1984, 260 с.
101. Котляков В.М., Чернова Л.П., Кунахович М.Г. Аннотированная библиография советской литературы по гляциологии за 1981–1990 годы. // МГИ, вып. 78 – М.: РАН, 1994, 307 с.
102. Котляков В.М., Чернова Л.П., Кунахович М.Г. Аннотированная библиография литературы по гляциологии за 1991–2005 годы. // МГИ, вып. 104. – М.: РАН, 2008, 240 с.
103. Кошкарлова В.Л., Карпенко В.Л., Орлова Л.А. Динамика растительности и верхней границы леса в голоцене на Полярном Урале // М.: Наука, Экология, 1999, №–2, с.121–125.
104. Кравцова В.И., Книжников Ю. Ф. Космическая геоинформация для исследования изменений гляциосферы: сегодня и завтра. // МГИ, вып. 99. – М.: РАН, 2005, с. 211–222.
105. Кренке А.Н. Массообмен в ледниковых системах на территории СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1982, 288 с.

106. Кренке А.Н., Ходаков В.Г. О связи поверхностного таяния с температурой воздуха. // МГИ. Хрон., обс., вып. 12. – М.: ВИНТИ, 1966, с. 153-164.
107. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Аспект Пресс, 2004, 184 с.
108. Лебедева И.М. Климатический и орографический факторы в деградации ледников Полярного Урала в 1900-2004 г. // Тезисы докладов конф. «Россия в МПП – первые результаты». Сочи: РАН, 2007, с.64.
109. Ле Руа Ладюри Э. История климата с 1000 года. – Л.: Гидрометеиздат, 1971, 280 с.
110. Литовский В.В. Новейшие исследования палеоклимата Урала за последнее тысячелетие по геотермическим данным. Метеорология. [Электронный ресурс] 2009, 2 с.
111. Лурье И.К., Косиков А.Г., Ушакова Л.А., Карпович Л.П., Любимцев М.Ю., Тутубалина О.В., Компьютерный практикум по цифровой обработке изображений и созданию ГИС // Дистанционное зондирование и ГИС. – М.: Научный мир, 2004, 148 с.
112. Лучининов В.С., Мачерет Ю.Л. Электромагнитное зондирование горных ледников. // Журн. технической физики, т. 41, № 6. – М., 1971, с. 1299-1309.
113. Макаревич К.Г., Рототаева О.В. Современные колебания горных ледников северного полушария. // МГИ, вып. 57. – М.: РАН, ВИНТИ, с. 25-33.
114. Максимов Е.В. Стадии древнего оледенения и новейшая тектоника в горах Путорана, на Полярном и Приполярном Урале. // Доклады отделений и комиссий ГО СССР. – Л.: Изд-во ГО, вып. 16, 1970, с. 19-34.
115. Маркин В.А., Ходаков В.Г. В ледяном мире гор. – Л.: Гидрометеиздат, 1971, 144 с.
116. Мартин Ю.Л. Формирование лишайниковых синузий на моренах ледников Полярного Урала. Автореф. дисс. к.б.н. – Свердловск, 1967, 22 с.

117. Мартин Ю.Л. Формирование лишайниковых синузий на моренах ледников Полярного Урала. Дисс. к.б.н. – Свердловск, 1967, 245 с.
118. Мартин Ю.Л. Динамика лишайниковых синузий и их биогеохимическая роль в экстремальных условиях среды. Автореф. дисс. д.б.н. – Таллин, 1987, 22 с.
119. Мартин Ю.Л. Динамика лишайниковых синузий и их биогеохимическая роль в экстремальных условиях среды. Дисс. д.б.н. – Таллин, 1987, 407 с.
120. Мачерет Ю.Я. Результаты гравиметрических измерений на леднике Обручева (Полярный Урал) // МГИ. Хрон., obs., вып. 21. – М.: ВИНТИ, 1973, с. 195-197.
121. Мачерет Ю.Я., Журавлев А.Б. Детальная радиолокационная съемка толщины льда и подледного рельефа горных ледников // МГИ. Хрон., obs., вып. 41. – М.: АН СССР, 1981, с. 115-133.
122. Мачерет Ю.Я. Радиозондирование ледников. – М.: Научный мир, 2006, 392 с.
123. Материалы наблюдений на горноледниковых бассейнах МГД в СССР. Вып. 1 (1965-1969). – Л.: Гидрометеиздат, 1980, 236 с.
124. То же. Вып. 2 (1969-1974). – Л.: Гидрометеиздат, 1987, 300 с.
125. Медведков А.А. Ледниковые районы России: Эволюция и современное состояние оледенения. // Газета География – М. 2010, № 2. с. 10, 17.
126. Метеорология. МГИ МГГ. Полярный Урал, вып 1. Основные метеорологические наблюдения на станции Б. Хадата – М., 1961, 132 с.
127. Метеорология. МГИ МГГ. Полярный Урал, вып 2. Основные метеорологические наблюдения – М., 1961, 139 с.
128. Метеорология. МГИ МГГ. Полярный Урал, вып 3. – М., 1961, 140 с.
129. Миронова Н.Я., Покровская Т.Н. Лимнологическая характеристика некоторых озер Полярного Урала. // В кн. Накопление вещества в озерах. / Под ред. Л.Л.Россолимо – М.: Наука, 1964, с. 102–133.

130. Миронова Н.Я., Россолимо Л.Л. Озерное накопление продуктов ледниковой эрозии на Полярном Урале. // В кн. Накопление вещества в озерах. / Под ред. Россолимо Л.Л. – М.: Наука, 1964. с. 148–163.
131. Носенко О.А., Носенко Г.А. Снежный покров Полярного Урала по данным микроволновых съемок. // МГИ, вып. 101. – М.: РАН, 2006, с. 176–182.
132. Носенко Г.А., Глазовский А.Ф., Цветков Д.Г., Осипова Г.Б. Опыт использования космических снимков ASTER и Landsat для изучения современного состояния ледников Полярного Урала. // Тезисы симпозиума «Гляциология в канун МПГ». – Пушкинские горы, ИГ РАН, 2006, с. 22.
133. Носенко Г.А., Муравьев А.Я., Иванов М.Н., Шахгеданова М.В. Современные исследования Института географии РАН и Университета г. Реддинг (Великобритания) на ледниках Полярного Урала // Тезисы докладов Межд. совещания по итогам МПГ – Сочи, РАН, 2009, с.46.
134. Оледенение Урала. / Троицкий Л.С., Ходаков В.Г., Михалев В.И., Гуськов А.С., Лебедева И.М., Адаменко В.Н., Живкович Л.А. – М.: Наука, 1966, 307 с.
135. Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху / отв. ред. акад. В.М. Котляков. – М.: Наука, 2006, 482 с.
136. Оледенение Северной Евразии в недавнем прошлом и ближайшем будущем / отв. ред. акад. В.М. Котляков. – М.: Наука, 2007, 366 с.
137. Опасные природные явления на поверхности суши: механизм и катастрофические следствия. Направление 3. // Изменение окружающей среды и климата. Природные и связанные с ними техногенные катастрофы. – М.: ИГЕМ РАН, 2007, с.81-95.
138. Осипова Г.Б., Хромова Т.Е., Цветков Д.Г. Проблемы исследования колебаний горных ледников по материалам космических съемок // МГИ, вып. 98. – М.: РАН, 2002, с. 129-135.
139. Охотников В.Н. Ледники на Полярном Урале. // Изв. ВГО, т.90, в.2, 1958, с.174-176.

140. Панова Н.К., Янковска В., Корона О.М., Зиновьев Е.В. Динамика растительности и экологических условий на Полярном Урале в голоцене // Экология, 2003, № 4, с. 248-260.
141. Перов В.Ф. Материалы к изучению снежников, ледников и мерзлотного рельефа Хибинских гор. МГТ – М.: ВИНТИ, 1965, 190 с.
142. Познанин В.Л. О некоторых особенностях оледенения Полярного Урала // Бюлл. МОИП, отд. геол., т. 48, в. 2, 1973, с. 157.
143. Попов А.И. Мерзлотные явления в земной коре (криолитология) – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1967, 304 с.
144. Поповнин В.В. Современная эволюция ледников Земли / Современные глобальные изменения природной среды. Т.1. – М.: Научный мир, 2006, с. 507-576.
145. Рубенштейн Е.С. Климат СССР. Ч.1 Темп. воздуха, в.2. – Л.: ГГО, 1929, 180 с.
146. Руководство по составлению Каталога ледников СССР – Л.: ГИМИЗ, 1966, 154 с.
147. Рыбак Е.А., Рыбак О.О. Тенденции в изменениях удельного баланса массы горных ледников Европы и их связь с колебаниями климата. // Мат. VI Межд. конф. “Инновационные технологии для устойчивого развитие горных территорий” – Владикавказ: СКГМИ, 2007, с. 284-285.
148. Сарана В.А. Современное состояние оледенения плато Путорана. Автореф. к.г.н. – М. 2005, 24 с.
149. Серебряный Л.Р., Орлов А.В., Соломина О.Н. Морены – источник гляциологической информации – М.: Наука, 1988, 236 с.
150. Серебряный Л.Р., Соломина О.Н. Ледники и климат гор на территории бывшего СССР в неогляциале. // Известия АН, серия Геогр. – М.: РАН, 1995, с. 38-49.
151. Соломина О.Н. Горное оледенение Северной Евразии в голоцене – М.: Научный мир, 1999, 272 с.

152. Соломина О.Н. Динамика субполярного оледенения за две тысячи лет по лихенометрическим данным. // МГИ, вып. 94. – М.: РАН, 2003, с. 17–30.
153. Соломина О.Н., Жидков В.А., Москалевский М.Ю. Новые данные по лихенометрии морен Полярного Урала. // МГИ, вып. 90. – М.: РАН, 2001, с. 57–68.
154. Справочник по климату СССР. вып.1. Архангельская и Вологодская области и Коми АССР ч.1. Температура воздуха – Архангельск: Гидрометеоиздат. 1970, 460 с.
155. Справочник по климату СССР. вып.1. Архангельская и Вологодская области и Коми АССР ч.2. Осадки – Архангельск: Гидрометеоиздат, 1972, 356 с.
156. Справочник по климату СССР. вып.17. Омская и Тюменская области ч.1. Температура воздуха – Омск: Гидрометеоиздат, 1972, 348 с.
157. Справочник по климату СССР. вып.17. Омская и Тюменская области ч.2. Осадки – Омск: Гидрометеоиздат, 1972, 519 с.
158. Сто дней на Урале. Книга о спортивной экспедиции «Большой Урал–91». / Сост. Рундеквист П.А. – Екатеринбург: БАСНО, 1993, 140 с.
159. Стойкин П.В. Эволюция оледенения Полярного и Приполярного Урала в XX-XXI вв. Магист. дисс., рукопись – М.: Геогр. ф-т МГУ, 2007, 100 с.
160. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. М., 1999, 91 с.
161. Супруненко Ю. На сибирских просторах / Сверкающий мир снега и льда: Занимательная гляциология. – М.: МУиК, 2008, с.124-146.
162. Сурова Т.Г., Троицкий Л.С. О развитии оледенения Полярного Урала в голоцене по данным спорово-пыльцевого анализа. // МГИ. Хрон., обс., вып. 14. – М.: АН СССР, 1968, с. 131-140.
163. Сурова Т.Г. Троицкий Л.С. Пуннинг Я.-М.К. Развитие оледенения Полярного Урала в позднем плейстоцене и голоцене (в связи с изучением отложений ледниково-подпрудных озер). // МГИ. Хрон., обс., вып. 23. – М.: ВИНТИ, 1974, с. 61-68.

164. Сурова Т.Г., Троицкий Л.С. Пуннинг Я.-М. Палеогеография и абсолютная хронология голоцена Полярного Урала. // Изв. АН ЭССР. Химия, Геология. – Таллин: Т.24, № 2., 1975, с. 152-159.
165. Суходровский В.Л. Годы странствий и наблюдений. Записки географа – геоморфолога М.: Экон-информ, 2012. 253 с.
166. Тронов М.В. Ледники и климат. – Л.: Гидрометеиздат, 1966, 408 с.
167. Троицкий Л.С. МГИ МГГ. Полярный Урал. Гляциогеоморфология. – М.: ВИНТИ, 1962, 166 с.
168. Троицкий Л.С. Общее описание исследований МГИ МГГ. Полярный Урал – М.: ВИНТИ, 1962, 56 с.
169. Троицкий Л.С. Вопросы оледенения малых форм // МГИ. Хрон., obs., вып. 8. – М.: ВИНТИ, 1963, с. 161-174.
170. Троицкий Л.С. О современной динамике ледников Полярного Урала. / Гляциологические исследования № 9. – М.: АН СССР, 1963, с. 94-102.
171. Троицкий Л.С. Гляциальный морфогенез и история оледенения Полярного Урала в позднем плейстоцене и голоцене // МГИ. Хрон., obs., вып. 28. – М.: ВИНТИ, 1976, с. 39-54.
172. Турманина В.И. Перспективы применения фитоиндикационных методов в гляциологии // Фитоиндикационные методы в гляциологии – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979, с. 154-159.
173. Тушинский Г.К. Ледники, снежники, лавины Советского Союза. – М.: Географгиз, 1963, 312 с.
174. Тушинский Г.К. Малиновская Н.М. Основы общей и региональной гляциологии. Региональная часть. – М.: Геогр. ф-т МГУ, 1969, 140 с.
175. Тушинский Г.К., Давыдова М.И. Физическая география СССР – М.: Изд-во «Просвещение», 1976, 144 с.
176. Тушинский Г.К., Турманина В.И. Ритмы гляциальных процессов последнего тысячелетия // Ритмы гляциальных процессов – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979, с. 154-160.
177. Тюлина Т.Ю. Способы исследования свойств массива льда в тоннеле ледника Обручева. // МГИ. Хрон., obs., вып. 34. – М.: ВИНТИ, 1978, с. 245–253.

178. Тюфлин А.С, Перевощикова Т.П. Изменение ледников Анучина и Чернова на Полярном Урале за последние 20 лет // МГИ, вып. 56 – М.: ВИНТИ, 1986, с. 96-99.
179. Урал и Приуралье. / Общ. ред. акад. И.П. Герасимова – М.: Наука, 1968, 460 с.
180. Федоров В.М. Реконструкция динамики баланса массы арктических ледников в XX столетии на основе макроциркуляционной модели // Криосфера Земли. Т. XIII, № 3. – СО РАН, 2009, с. 80–87.
181. Хантемиров Р.М. Динамика древесной растительности и изменения климата на севере Западной Сибири в голоцене. // Автореф. дисс. д.б.н. – Екатеринбург, 2009, 24 с.
182. Ходаков В.Г. Об озерной стадии деградации каровых ледников. // МГИ, вып. 12 – М.: АН СССР, 1966, с. 261-262.
183. Ходаков В.Г. Водно-ледовый баланс районов современного и древнего оледенения СССР. – М.: Наука, 1978, 196 с.
184. Хабаков А.В. Полярный Урал и его взаимоотношения с другими складчатыми областями // Труды горно-геологического управления. Вып. 15. – М-Л.: Изд-во Главсевморпути, 1945, 77 с.
185. Цветков Д.Г. Катастрофическая деградация ледника МГУ на Полярном Урале. // МГИ. Хрон., обс., вып. 41. – М.: ВИНТИ, 1981, с. 162-172.
186. Цветков Д.Г. Определение изменения объемов горных ледников по материалам стереофотограмметрических съемок // МГИ. Хрон., обс., вып. 15. – М.: АН СССР, 1970, с. 182-191.
187. Цветков Д.Г. 10 лет фотогеодезических работ на ледниках Полярного Урала // МГИ. Хрон., обс., вып. 16. – М.: АН СССР, 1970, с. 245-257.
188. Цветков Д.Г. Фотогеодезический мониторинг горных ледников. Автореферат к.г.н. – М.: ИГ АН СССР, 1990, 24 с.
189. Чижов О.П. Оледенение Северной полярной области. – М.: Наука, 1976, 240 с.

190. Чижов О.П. Бюджет массы ледников на островах Северо-Восточной Атлантики по исследованиям в период МГГ. // Геофизический бюллетень № 19. – М.: Наука. 1968, с. 24-33.
191. Чижова Ю.Н. Изотопно-геохимические особенности снежного покрова и ледникового льда в разных гляциологических условиях Приэльбрусья, Полярного Урала и Хибин. / Автореф. дисс. к.г.н. – М.: МГУ, 2006, 24 с.
192. Шалаумова Ю.В., Фомина В.В., Капралов Д.С. Пространственно-временная динамика климата на Урале во второй половине XX века. // Метеорология и гидрология, № 2. – С-Пб., 2010, с. 44-54.
193. Шиятов С.Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009, 216 с.
194. Шиятов С.Г., Хантемиров Р.М., Горланова Л.А. Тысячелетняя реконструкция температуры лета на Полярном Урале: данные древесных колец можжевельника сибирского и лиственницы сибирской // Археология, этнография и антропология Евразии, № 1(9), 2002, с. 2-5.
195. Шкляева Л.С. Современные изменения климатических характеристик на Урале. // Современные проблемы климатологии. Мат. Всерос. конф. 100-летию проф. О.А. Дроздова – С-Пб.: ВВМ, 2009, с.152-154.
196. Шумский П.А., Михалев В.И., Цветков Д.Г. Колебания ледника Обручева (Полярный Урал), их механизм и причины. Кинематика поверхности. // МГИ. Хрон., обс., вып. 20. – М.: АН СССР, 1972, с. 35–69.
197. Шумский П.А. Задачи и методы изучения колебаний ледников. // Научные труды института механики МГУ, № 42. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1975, с. 5-11.
198. Шумский П.А., Красс М.С. Колебания ледника Обручева (Полярный Урал). // МГИ. Хрон., обс., вып. 33 – М.: ВИНТИ, 1978, с. 64–70.

199. Шумский П.А., Красс М.С. Влияние подстилающей поверхности на питание и абляцию ледников. // МГИ, Хрон., обс., вып. 34. – М.: ВИНТИ, 1978, с. 185–192.
200. Шукин И.С. Общая геоморфология. Т.1. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1960, 615 с.
201. Ananicheva M. D., Kononov Yu. M. Dynamics of Polar Ural glaciers in the twentieth century under climate change. // ACSYS Final Science Conference: Book of abstracts [Электронный ресурс]. – С-Пб., 2004.
202. Andreev A.A., Tarasov P.E., Ilyashuk B.P., Ilyashuk E.A., Cremer H., Hermichen W.-D., Wischer F., Hubberten H-W. Holocene environmental history recorded in Lake Lyadhej-To sediments, Polar Urals, Russia. // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 2005, 223. p.181–203.
203. Baltrūnas V. Morenų formavimosi ypatumai dabartinių kalnų ledynų aplinkoje // - Vilniaus.: Geografija. 2007. T. 43. Nr. 1. p. 52–60.
204. Bennet M., Glasser N. *Glacial Geology*. – Chichester, Wiley-blackwell, 2<sup>nd</sup> ed. 2009, 385 p.
205. Briffa K. R., Jones Ph.D., Schweingruber F.H. Shiyatov S.G., Cook E.R. Unusual twentieth-century summer warmth in a 1,000 year temperature record from Siberia. *Nature*, 1995, 376: p. 156–159.
206. Briffa K.R. Annual climate variability in the Holocene: interpreting the message of ancient trees // *QSR*. 2000, № 19, p. 87-105.
207. Briner J.P. Dating glacial landforms. // *Encyclopedia of snow, ice and glaciers*. – Springer, 2011 Lichenometry, p. 175-186.
208. Coleman C.G., Carr S.J., Parker A.G. Modelling topoclimatic controls on palaeoglaciers: implications for inferring palaeoclimate from geomorphic evidence. *Quaternary Science Reviews*. 28 (2009), p.249–259.
209. Cremer H., Andreev A., Hubberten H.-W., Wischer F. Paleolimnological reconstructions of Holocene environments and climate from lake Lyadhej-To, Ural Mts, Northern Russia. // *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 2004, vol. 36 № 2, p.147-155.

210. DeBeer C.M., Sharp M.J. Topographic influences on recent changes of very small glaciers in the Monashee Mountains, British Columbia, Canada / *Journal of Glaciology*, 2009. Vol. 55, No. 192, p. 691-700.
211. Demezhko D. Yu., Golovanova I. V. Climatic changes in the Urals. // *Climat of the past*, 3, 2007, p. 237–242.
212. Dyurgerov M.B. Meier M.F. Twentieth century climate change: Evidence from small glaciers // *PNAS – New York*, 2000. vol. 97. no. 4. p.1406–1411.
213. Dyurgerov M.B. Glacier mass balance and regime: Data of measurements and analysis. INSTAAR Occasional Paper № 55, – Boulder, Univ. of Colorado, 2002, 198 p.
214. Global Glacier Changes: facts and figures / editing M. Zemp, J. van Woerden. – Zurich, WGMS, 2008, 88 p.
215. Fluctuations of Glaciers 1959-1956. – Paris, IASH (ICSU)-UNESCO, v. I. 1967, 52 p.
216. Fluctuations of Glaciers 1965-1970. – Paris, IAHS-UNESCO, v. II. 1973, 357 p.
217. Fluctuations of Glaciers 1970-1975. – Paris, IAHS (ICSU) – UNESCO, v. III. 1977, 269 p.
218. Fluctuations of Glaciers 1975-1980. – Paris, IAHS (ICSU) – UNESCO, v. IV. 1985, 265 p.
219. Fluctuations of Glaciers 1980-1985. – Zurich, IANS (ICSU) – UNEP – UNESCO, v. V. 1988, 290 p.
220. Grove J.M. Little ice age Ancient and Modern, 2<sup>nd</sup> edition. – London: Routledge. vol. 2. 2004, 718 p.
221. Groswald M.G., Kotlyakov V.M, Present-day glaciers in the U.S.S.R. and some data on their mass balance. *J. of Glaciology* 1969, v.8, N 52, p. 9-22.
222. Hantemirov R.M., Shiyatov S.G. A continuous multimillennial ring-width chronology in Yamal, northwestern Siberia // *The Holocene*, 2002 (12,6), pp. 717–726.
223. Hubbard B., Glasser N. Field Techniques in Glaciology and Glacial Geomorphology. – Chichester, Wiley, 2005, 400 c.
224. IPCC.2007: Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report

of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambr. univ. press, 2007, 996 p.

225. Ivanov M.N. Comprehensive study of moraines in the Polar Urals. // Proceedings of XVIII INQUA Congress: Quaternary sciences – the view from the mountains. – Bern, Switzerland, 2011, 1 p.
226. Ivanov M.N. Polar Urals Glaciers and Periglacial Geomorphology // TICOP Excursion Guidebook Tenth International Conference on Permafrost – Tyumen, Russia: Pechatnik, 2012. 50 p.
227. Jankovska V., Andreev A.A., Panova N.K. Holocene environmental history on the eastern slope of the Polar Ural Mountains, Russia / *Boreas* № 35, 2006, p. 650-661.
228. Kononov Y., Ananicheva M., Willis I. High-resolution reconstruction of Polar Ural glaciers mass balance for the last millennium. // *Annals of Glaciology*, 2005, vol. 42., pp.163-170.
229. Khodakov, V., Ilina, Y., Snow and-ice phenomena in the Polar Urals // *Polar Geography and Geology*, № 13, 1989. p. 119–130.
230. Leclercq P.W., Oerlemans J. Global and hemispheric temperature reconstruction from glacier length fluctuations // *Clim. Dyn.* 2011. DOI 10.1007/s00382-011-1145-7, 15 p.
231. Lillquist K., Walker K. Historical glacier and climate fluctuations at Mount Hood, Oregon // *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 2006, V. 38, No. 3, p. 399-412.
232. Ljungqvist F.C., Krusic P.J., Brattstrom G., Sundqvist H.S. Northern Hemisphere temperature patterns in the last 12 centuries. // *Clim. Past*, 8, 2012., p. 227-249.
233. Mangerud J., Gosse J., Matiouchkov A., Dolvik T. Glaciers in the Polar Urals, Russia, were not much larger during the Last Global Glacial Maximum than today. *Quaternary Science Rev.*, 2008, № 27, p.1047–1057.
234. Mountain glaciers of the Northern hemisphere – Hanover, USA: CRREL vol. 1. 1978. p. 187-197.
235. Mountain glaciers of the Northern hemisphere Atlas – Hanover, USA: CRREL. 1975. Plate 9? Map 12.2r.
236. Nosenko G., Shahgedanova M., Muravyev A., Ivanov M., Bushueva I. Investigating Glacier Response to the Recent Climate

- Change in the Polar Urals (EM9.2-3.4). // Abstract IPY conference – Oslo, Norway, 2010, 1 p.
237. Oerlemans J. Minimal Glacier Models – Utrecht Univ, 2008, 91 p.
238. Oerlemans J. Extracting a Climate Signal from 169 Glacier Records // *Science*, 308, 2005, p. 675-678.
239. Paul F., Kääb A., Rott H., Shepherd A., Strozzi T. Volden E. GlobGlacier: a new ESA project to map the world's glaciers and ice caps from space // *EARSeL eProceedings* 8, 1/2009, p. 11-25.
240. Repeat Photography: Methods and Applications in the Natural Sciences / Edited by Webb R.H., Boyer D.E., Turner R.M. – Island Press, 2010. 392 p.
241. Shahgedanova M., Nosenko G., Bushueva I., Ivanov M. Changes in area and geodetic mass balance of small glaciers, Polar Urals, Russia, 1950-2008 // *J. of Glaciology*. 2012, vol., 58. № 211, p. 953-964. doi: 10.3189/2012JoG11J233.
242. Solomina O., Alverson K. High latitude Eurasian paleoenvironments: introduction and synthesis. // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2004, vol. 209, p.1– 18.
243. Solomina O.N., Ivanov M.N., Bradwell T. Lichenometric studies on moraines in the Polar Urals // *J. Geografiska Annaler*, vol. 92 A, №1. – Stockholm, Sweden, 2010, pp. 81-99.
244. Shiyatov, S.G., 2003: Rates of changes in the upper treeline ecotone in the Polar Ural Mountains. *PAGES News*, 11(1), p. 8–10.
245. Stachnik L., Walach P. Influence of meteorological conditions on discharge and dissolved solids yield during the ablation season in the periglacial basin of Obruchev Glacier // Abstract of Oslo science conference International Polar Year – Oslo, Norway, 2010, 1 p. [PS3-D.13].
246. Stachnik L., Uzarowicz L. The relationship between dissolved solids yield and the presence of snow cover in periglacial basin of the Obruchev Glacier (Polar Urals) during the ablation season / *Quaestiones Geographicae*. – Poznań, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, 2011, № 30(1), p. 95-103.
247. Svendsen J.I., Astakhov V.I., Bakke J., Gyllencreutz R., Henriksen M., Karlsen L., Lohne Ø., Mangerud J., Nazarov D. Glacial history

of the Polar Urals inferred from terrestrial and lacustrine data // Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU 2009-8455.

248. Svendsen J.I. Glacial and climate history of the Polar Urals, Arctic Russia, during the last ice age. // Proceedings of XVIII INQUA Congress. – Bern, Switzerland, 2011, 1 p.
249. Svendsen J.I., Krüger L.C., Mangerud J., Astakhov V.I., Paus A., Nazarov D., Murray A. Glacial and vegetation history of the Polar Ural Mountains in northern Russia during the Last Ice Age, Marine Isotope Stages 5-2 // Quaternary Science Reviews. 2013. 20 p.
250. Tore D. Rekonstruksjon av weichsel-brelober i Polare Ural // Cand. Scient.-oppgave i geologi Studieretning kvartærgeologi – Bergen: Universitetet i Bergen. 2004. 159 p.
251. Ural Mountains (Ural'skiye Gory) // Satellite image atlas of glaciers of the world. Vol. F Glaciers of Asia – Washington: USGS, 2010. p. f34-f36.
252. Voloshina, A. Some results of mass balance research on the glaciers in the Polar Urals. // Polar Geography and Geology. 1988, №12, p. 200–211.
253. Walker M. Quaternary Dating Methods. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2005, 286 p.
254. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glacialgeologie. – Innsbruck. Band 40 (2005/2006), 181p.
255. Zverkova N.M. Ural Mountains and Taymyr Peninsula. // Satellite image atlas of glaciers of the World. vol. F. – USGS: Washington: United States government printing office, 2010, p.41-42.

Источники из сети интернет:

256. [www.cupr.ru](http://www.cupr.ru) – Корпорация Урал Промышленный – Урал Полярный.
257. [www.data.giss.nasa.gov/gistemp/](http://www.data.giss.nasa.gov/gistemp/) – Анализ температуры воздуха.
258. [www.data.giss.nasa.gov/cgi-bin/cdrar/do\\_LTmapE.cgi](http://www.data.giss.nasa.gov/cgi-bin/cdrar/do_LTmapE.cgi) – Аномалии температуры воздуха на Земле.
259. [www.gyllencreutz.se](http://www.gyllencreutz.se) – проект ICEHUSE.
260. [www.iasc-nag.org/fieldsites.html](http://www.iasc-nag.org/fieldsites.html) – Данные о ледниках Арктики.

261. [www.instaar.colorado.edu/other/occ\\_papers.html](http://www.instaar.colorado.edu/other/occ_papers.html). – Данные измерений баланса массы ледников.
262. [www.nsidc.org/data/glacier\\_inventory/](http://www.nsidc.org/data/glacier_inventory/) – Всемирный каталог ледников.
263. [www.knmi.nl](http://www.knmi.nl) – Королевский Метеоинститут Голландии.
264. [www.ncdc.noaa.gov/paleo/recons.html](http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/recons.html) – Реконструкции климата.
265. [www.sevmeteo.ru](http://www.sevmeteo.ru) – Северное УГМС.
266. [www.yquq.net/12810-Laviny\\_Urala.html](http://www.yquq.net/12810-Laviny_Urala.html) – Лавины Урала

Для заметок

*Научное издание*

монография

**Михаил Николаевич Иванов**

**ЭВОЛЮЦИЯ ОЛЕДЕНЕНИЯ ПОЛЯРНОГО УРАЛА  
В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ**

Заказ 1258. Тираж 120 экз.

Подписано в печать 24.10.2013

Отпечатано в типографии МГУ.

119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, д.1, стр.15.

На обложке – массив Хар-Наурды-Кеу и ледник ИГАН, 2010. Фото автора



### **Иванов Михаил Николаевич**

Кандидат географических наук, научный сотрудник кафедры криолитологии и гляциологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Автор публикаций о эволюции и современном состоянии оледенения, лавинах и криогенных процессах Полярного Урала, Кавказа, Алтая, Тянь-Шаня.