

Научно-исследовательская работа

Астрономия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ  
ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕМПОВ ТАЯНИЯ ГОРНЫХ ЛЕДНИКОВ В АРКТИКЕ

Выполнил(а):

Фомина Марина Андреевна

учащий(ая)ся \_\_\_11\_\_ класса

МБОУДО ДЮЦКО «Галактика», Россия, г. Калуга

Руководитель:

Моисеева Екатерина Вячеславовна

Педагог дополнительного образования,

МБОУДО ДЮЦКО «Галактика», Россия, г. Калуга

## Оглавление:

Введение.....	3
Глава I. Ведущие факторы ледниковых систем .....	5
1. Строение ледников.....	5
2. Ледниковая система гор Бырранга.....	5
3. Климатические особенности Арктики и субарктики.....	7
Глава II. Определение характеристик ледниковой системы по данным дистанционного зондирования (ДЗЗ).....	8
1. Анализ и выбор доступных программ ДЗЗ.....	8
2. Определение параметров заданного поиска космоснимков.....	8
3. Оцифровка полученных снимков ледника.....	9
4. Анализ изменения границ ледника.....	10
5. Оценка современного состояния ледника.....	11
Заключение.....	13
Список использованных источников и литературы.....	14
Приложения .....	15-19

## Введение

Необходимость данного исследования продиктована тревожной ситуацией с экологией в приарктической зоне. В последние годы число опасных природных явлений и крупных техногенных катастроф неуклонно растет. Наглядным примером тому являются крупнейшие лесные пожары на севере Красноярского края летом этого года. Повышение температуры воздуха и загрязнение атмосферы большим количеством продуктов горения при таких пожарах, может приводить к крупным экологическим и климатическим последствиям.

Важнейший индикатор климатических изменений — ледники. На сегодняшний день основной инструмент для изучения ледников — пешие исследовательские экспедиции. Они, с одной стороны, дают точные и однозначные результаты, но с другой — требуют больших человеческих и материальных ресурсов. Из-за недостатка средств за многими ледниками зачастую перестают вести наблюдения.

Одним из инструментов изучения Арктики и субарктических зон, охватывающих обширную площадь, служит дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) и геоинформационные системы (ГИС). Данные ДЗЗ позволяют проводить мониторинг динамики ледяного покрова и окружающей среды, оценивать состояние экосистем Земли в настоящее время.

**Актуальность исследования:** заключается в том, что в ближайшее время можно ждать усиление и нарастание процессов разрушения ледниковых массивов в арктической зоне.

**Проблема исследования:** это чревато целым рядом последствий от опреснения вод Ледовитого океана до оттаивания реликтовых залежей метана на шельфе арктической прибрежной зоны.

**Цель исследовательской работы:** дать оценку современному состоянию ледников в районе гор Бырранга с использованием космических снимков.

## **Задачи:**

- 1) Собрать и изучить информацию, касающуюся историко-географического аспекта ледников гор Бырранга
- 2) Изучить особенности ледника гор Бырранга на основе радиолакационных данных со спутников Landsat, Sentinel на предмет изменения площади;
- 3) Провести визуализацию полученных данных путём оцифровки ледников на территории исследования по космическим снимкам.
- 4) Рассчитать объём льда исследуемого ледника.

**Гипотеза исследования:** с помощью данных со спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) можно эффективно исследовать экологическую обстановку, например, состояние ледников на планете.

**Объект исследования:** ледник Неожиданный, входящий в ледниковую систему гор Бырранга на полуострове Таймыр.

**Предмет исследования:** космоснимки ледника Неожиданный.

## **Методы исследования:**

теоретические – анализ, сравнение, конкретизация, обобщение;

практические – поиск источников для нахождения предмета исследования, обработка и обобщение полученных данных, расчет искомых параметров.

**Теоретическая новизна:** в результате дешифрования полученных космоснимков рассчитан объём льда ледника Неожиданный по площади при отсутствии данных о его мощности.

**Практическая значимость:** состоит в обозначении преимущества работы с данными ДЗЗ: возможность исследовать труднодоступные (недоступные) районы, широкий охват территории, безопасность, экономическая доступность.

## **Глава I. Ведущие факторы ледниковых систем**

Ледники — это такие естественные скопления льда на поверхности Земли, образовавшиеся от накапливающегося избытка снега.

Покровные ледники арктических островов и горнодолинные ледники материковой Арктики представляют собой важнейший элемент высокоарктической природы и специфический объект гидрометеорологического изучения. Ведь лед — это вода в твердом виде, то есть та вода, которая временно изъята из общего круговорота ее на Земле и как бы законсервирована. Ледники благодаря содержащимся в них запасам холода и свойственной их поверхности высокой отражательной способности принимают большое участие в современных природных процессах.

### **1. Строение ледников**

Когда лед становится достаточно толстым, он начинает расползаться. В результате образуются ледники нескольких видов: горные, которые стекают по склонам в горах, и покровные ледники. [2]

Малые ледники особенно чутко реагируют на климатические изменения, характерные для современной эпохи. Они представляют собой неустойчивые образования из снега, фирна и льда, которые при незначительных климатических изменениях могут переходить из одной формы в другую. При уменьшении снежности и повышении температуры воздуха малые ледники превращаются в снежники, при увеличении снежности - в ледники. Подобные изменения неоднократно повторялись на разных этапах эволюции оледенения. Изучение современного состояния малых ледников - одна из актуальных проблем.

### **2. Ледниковая система гор Бырранга**

Для исследования мною был взят ледник Неожиданный, входящий в систему ледников гор Бырранга.

Бы́рра́нга — горы на крайнем севере Восточной Сибири, в Красноярском крае на полуострове Таймыр. Они входят в состав Большого Арктического и Таймырского заповедника. Самая северная горная система в России и самая северная материковая горная система на планете. Открыты в 1736 году калужанином Василием Васильевичем Прончищевым во время Великой Северной экспедиции. [1]

Ледниковая система гор Бырранга на полуострове Таймыр по размерам приближается к уральской – она состоит из 96 ледников, общей площадью 30 км<sup>2</sup>; 30 из них имеют размер менее 0,1 км<sup>2</sup>.

Северная граница оледенения проходит примерно по 76 , а южная – по 75 с.ш. По долготе район оледенения простирается от 106 до 110 в.д. [3]

Первый ледник, названный Неожиданным, обнаружен экспедицией Треста «Арктикразведка» в 1948 г. [3]

Три наиболее крупных перемётно-долинных ледника – Северный, Южный и Толля, объединённые общим бассейном питания на плато Гляциологов, в 1967 г. представляли собой единый комплекс, площадью около 7 км<sup>2</sup>, сходный с ледниковыми комплексами плато в Скандинавии. В 1950 г. к этой системе примыкал также ледник Неожиданный, площадью 8 км<sup>2</sup>, который затем, в результате вытаивания перевальной перемычки в верховьях, отделился и превратился в крупный долинный ледник. Все эти ледники известны не очень давно, так что сведения об этих ледниках еще свежие. [5]

Первым человеком, увидевшим здесь ледники в 1948 г. был геолог Г. П. Вергунов. В верховьях реки Толля — одного из многочисленных притоков Ключевки, впадающей в море Лаптевых, он обнаружил конечную часть языка крупного долинного ледника, верховья которого скрывались в облаках. Неожиданная встреча с этим интересным природным феноменом и определила, наверное, его название. По тем данным, которые сообщил по возвращении из экспедиции Г. П. Вергунов, ледник Неожиданный имел довольно большие

размеры — достигал в длину нескольких километров. В его верховьях располагался обширный фирновый бассейн питания, имевший вид овального цирка с крутыми высокими стенками — склонами окружающих горных вершин. Бассейн питания находился на высоте около 1100 метров над уровнем моря. К языку примыкали лавинные конусы, поставлявшие ему дополнительное питание. [4]

### **3. Климатические особенности Арктики и субарктики**

Таймыр расположен в заполярных широтах, в арктическом и субарктическом поясах Земли, и это определяет климатические условия, царящие на полуострове. Весна сюда приходит только в июне, а в августе уже наступает осень. Летнего времени как такового практически нет.

Климат суровый, резко континентальный с длинной, очень холодной зимой и коротким летом. Средняя температура января  $-35^{\circ}\text{C}$ , июля  $+3-5^{\circ}\text{C}$ . Весна начинается в июне, а в сентябре уже начинается зима с сильными метелями.

Удивительно, но практически все циклоны, проходящие через Евразию с Атлантического океана, над Таймыром останавливаются и, окончательно иссякнув, над ним же и умирают. Именно поэтому синоптики всего мира неофициально называют полуостров «кладбищем циклонов».

Летом режим погоды в таймырской горноледниковой зоне формируется под влиянием двух разнородных воздушных масс: холодного морского воздуха, приходящего из Арктики, и теплого континентального, поступающего из Сибири. Поднимаясь навстречу друг другу по противоположным склонам горной системы Бырранга, они обычно сталкиваются в наиболее возвышенной водораздельной зоне. На вершины гор и ледники выпадает много мокрого снега и интенсивно нарастает изморозь. При этом в восточной части гор температура воздуха ниже по сравнению с западной частью.

Но когда при южных ветрах поступает теплый воздух из Сибири, то в июле и в начале августа бывает на удивление тихая и теплая погода. [4]

## **Глава II. Определение характеристик ледниковой системы по данным дистанционного зондирования (ДЗЗ)**

Состояние горного оледенения характеризуется балансом массы ледника. Когда баланс массы положительный, то есть приход вещества (аккумуляция) больше расхода (абляции), масса льда увеличивается, ледник продвигается вперед. При отрицательном балансе масса льда уменьшается, ледник отступает, освобождая место, которое он занимал. Как правило, ледники наступают при увеличении влажности и уменьшении температуры воздуха и отступают при уменьшении осадков и увеличении температуры воздуха. Так называемая граница питания — это важнейший пограничный уровень, проходящий там, где аккумуляция в целом за год равна абляции. [6]

### **1. Анализ и выбор доступных программ ДЗЗ**

Основу моего исследования ледника Неожиданного горной системы Бырранга составляло определение параметров этого объекта по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса. В открытом доступе находятся материалы многолетних съёмок спутников Landsat, использующих съёмочную аппаратуру среднего разрешения MSS (Multispectral Scanner), TM (Thematic Mapper) и ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Пространственное разрешение многоканальных данных меняется от 60 до 30 м/пиксель. Данные ETM+ имеют также панхроматический канал с разрешением 15 м/пиксель. Эти снимки легли в основу анализа состояния исследуемого ледника.

### **2. Определение параметров заданного поиска космоснимков**

Географическое положение исследуемого ледника было найдено с помощью Каталога ледников СССР. (Приложение I)

Для решения задачи оценки современного состояния и распространения ледников гор Бырранга необходимо учесть ряд факторов:

- ✓ необходимы снимки, когда ледниковый лёд свободен от снежного покрова, а это очень короткий период – с конца июля до начала сентября, т.е. не больше 1,0–1,5 месяцев;
- ✓ часть исследуемой территории может быть покрыта облачностью или дымкой, а свежавыпавший снег не позволяет точно ограничить контуры ледников;
- ✓ съёмка на закате или восходе осложняет их выделение из-за глубоких теней, отбрасываемых на ледник окружающими вершинами.

Подобные проблемы могут быть решены посредством усиления контрастности, радиометрической и текстурной фильтрации.

Учитывая данные обстоятельства, я решила использовать космоснимки за месяц август. При этом я использовала архивные данные среднемесячных и годовых температур воздуха в Хатанге (самой близкой метеостанции к исследуемому объекту). [7] В это время горы максимально освобождены от снежного покрова, и это позволяет с помощью комбинаций каналов снимка идентифицировать границы покрывающих его ледников. (Приложение II)

Для того, чтобы выяснить на сколько изменилась площадь ледника с течением времени и изменилась ли она вообще я зарегистрировалась на сайте Earth explorer и выбрала снимки наилучшего качества за три года 2000, 2017 и 2019.

### **3. Оцифровка полученных снимков ледника**

Для уточнения границ и площади ледника мною использовались методы интерактивного дешифрирования и редактирования данных в ГИС приложениях. При дешифрировании границ моренного покрова, безусловно, есть большой элемент субъективизма. В работах разных исследователей приведённые экспертные оценки точности такого дешифрирования составляют около 3–4% [11]

Оцифровка ледника проводилась мною через визуальную идентификацию границ ледника. Для сравнительного анализа площади ледника Неожиданный я составила трёхцветную композицию по данным ДЗЗ за выбранные годы. По результатам оцифровки космоснимков ледника Неожиданный можно сделать вывод, что его площадь сократилась за 19 лет на 21%. (Приложение III)

#### **4. Анализ изменения границ ледника**

Получив площади исследуемого ледника  $S$ , я перешла к расчёту объёмов льда  $V$ . Рассчитать объём льда по площади ледника при отсутствии данных о его мощности можно по формуле  $V = aSr$ . Коэффициенты  $a$  и  $r$  в этой формуле выведены многими авторами и применимы для конкретных условий. Учёные предлагают коэффициенты к этой формуле для расчёта объёма горных ледников с учётом их морфологического типа. Они получены по данным об объёмах льда, которые в свою очередь основаны на прямых измерениях мощности ледников с помощью радиолокационного зондирования. Коэффициенты к формуле  $V = aSr$  для ледников долинного ( $a = 0,435$ ,  $r = 0,94$ ), карово-долинного ( $a = 0,464$ ,  $r = 0,89$ ), карового и карово-висячего ( $a = 1,244$ ,  $r = 0,91$ ) морфологических типов. [8]

Ледник Неожиданный относится к ледникам долинного морфологического типа, выбрав соответствующий коэффициент получаем расчётный объём льда. (Приложение IV)

Теперь можно более наглядно представить сколько запасов пресной воды содержит небольшой, относительно других ледниковых систем, ледник.

В России рассчитана и используется норма потребления холодного водоснабжения на одного человека – 6,9 кубометра в месяц. [10]

Население г. Калуга — 336 726 человек (2019 год) [9]

Следовательно, на год населению моего города необходимо 0,028 км<sup>3</sup>, а значит пресной воды ледника Неожиданный хватило бы жителям моего города на 55 лет, почти целое поколение.

## 5. Оценка современного состояния ледника

Можно выделить два важных фактора, влияющих на скорость таяния ледников, а, следовательно, и на изменение климата:

- ✓ перенос сажи (микрочастиц углерода), попадающей в атмосферу в результате сжигания ископаемого топлива или в результате разных видов пожаров на природных территориях, в Арктику, особенно весной и в начале лета;
- ✓ ускоряющееся потепление в регионе.

Частицы сажи, осаждаясь на поверхность ледника, могут уменьшать его отражающую способность - и чем больше оседает сажи, тем большая доля солнечного излучения не отражается, а поглощается и тратится на таяние. Даже незаметное для невооруженного глаза изменение отражающей поверхности снега и льда может очень существенно влиять на интенсивность таяния. Это явление уже неплохо изучено на примере ледников Гренландии и некоторых горных систем, но вообще оно имеет глобальный характер. Однако анализ спутниковых данных не позволил выявить зависимость скорости таяния ледника от степени загрязненности их поверхности антропогенным черным углеродом.

Основной же причиной ускорения темпов таяния ледников можно считать ускоряющееся потепление в регионе. Данные по росту среднегодовых температур, зафиксированных местными метеостанциями (0,4°C за период 1975–2000 гг. и 1,4°C за период 2000–2018 гг.) [6] хорошо согласуются со скоростью таяния ледников. (Приложение V)

Аномальная жара летом 2019 года в Сибири, рекордная за последние 40 лет средняя летняя температура в Хатанге 13,03 С и сильные лесные пожары повлияли на экосистему ...

Данные ДЗЗ наглядно показывают: площадь ледника за 17 лет с 2000 по 2017 уменьшилась на 8,5%, а за последние два года – на 12,5%. (Приложение VI)

Ледники гор Бырранга на примере ледника Неожиданный сегодня находятся явно не в лучшем своем состоянии, они продолжают отступать и скорость таяния резко увеличивается. Этот процесс является по-настоящему катастрофическим явлением. Ледяной покров планеты тает, и эта проблема беспокоит ученых всего мира, она заставляет искать способы её решения. Претворить в жизнь предложенные варианты, такие как: сокращение выбросов парниковых газов в атмосферу, широкое использование экологических технологий, увеличение количества зеленых насаждений, прекращение вырубки лесов, особенно в экваториальных и тропических широтах, контролирование ситуаций с лесными пожарами, ужесточение экологического законодательства, внедрение энергосберегающих технологий, переработка отходов, привлечение внимания общественности к проблеме – очень сложно, но необходимо.

## Заключение

Дешифрирование новых крупномасштабных космических снимков исследуемого ледника и сопоставление их с материалами прошлых лет позволило провести анализ современного состояния оледенения и определить степень его сокращения за летний период.

Сравнение оценок сокращения площади ледника Неожиданный входящего в ледниковую систему гор Бырранга позволяет утверждать, что сокращение ледника возрастает. Ключевым фактором является рост величины средней годовой температуры и, что более важно, средней летней температуры. Последняя значительно увеличилась за последние несколько десятилетий.

Понимание того, как сегодня распределена вечная мерзлота и точные оценки того, где она может исчезнуть, критически важны для понимания того, как северные экосистемы отреагируют на изменение климата. Поэтому так важен контроль над ледниками.

Результаты работы продемонстрировали эффективность использования спутниковой съемки для проведения дистанционных исследований в труднодоступных районах.

Этому способствует разработка и продвижение новых технологий, направленных на упорядочивание и качественную обработку огромных массивов данных. Технологии ДЗЗ в силу своих уникальных особенностей (широкий территориальный охват, оперативность, контроль над отдаленными районами, всепогодность при использовании радарной съемки и т. д.) имеют для экологического контроля и мониторинга в различных сферах экономической деятельности в работах по оценке антропогенного и техногенного воздействия на окружающую среду важное значение.

## Список использованных источников и литературы:

1. Большая Советская Энциклопедия (БСЭ), 3 изд., М., 1971, т. 4, 456 с.
2. Гляциологический словарь / Под ред. В. М. Котлякова. Л., Гидрометеиздат, 1984. 527 с.
3. Каталог ледников СССР. М.-Л., Гидрометеиздат, 1965–1982.
4. Говоруха Л. С. Путешествие в Бырранга. Л. Гидрометеиздат 1973г. 160 с.
5. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Ледники. М., Мысль, 1989. 447 с.
6. Кранке А.Н., Аничева М.Д. и др. Ледники и ледниковые системы. М., НИЦ космической гидрометеорологии "Планета", 2012. С. 360 - 399
7. Ананичева М.Д., Капустин Г.А. Оценка изменений ледников гор Бырранга по космическим снимкам и Каталогу ледников СССР // Лёд и Снег. 2010. № 3 (111). С. 19–24.
8. Никитин С.А. Закономерности распределения ледниковых льдов в Русском Алтае, оценка их запасов и динамики // МГИ. 2009. Вып. 107. С. 87–97.
9. Калуга. Источник: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Калуга>
10. Расход воды без счетчиков по нормативу. Источник: <https://potreb-prava.com/zhkx/normativ-potrebleniya-vody-bez-schetchika-2019.html>
11. Средние месячные и годовые температуры воздуха в Хатанге (по online данным и литературным источникам).  
Источник: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/20891.htm>

Географическое расположение ледниковой системы по каталогу ледников СССР

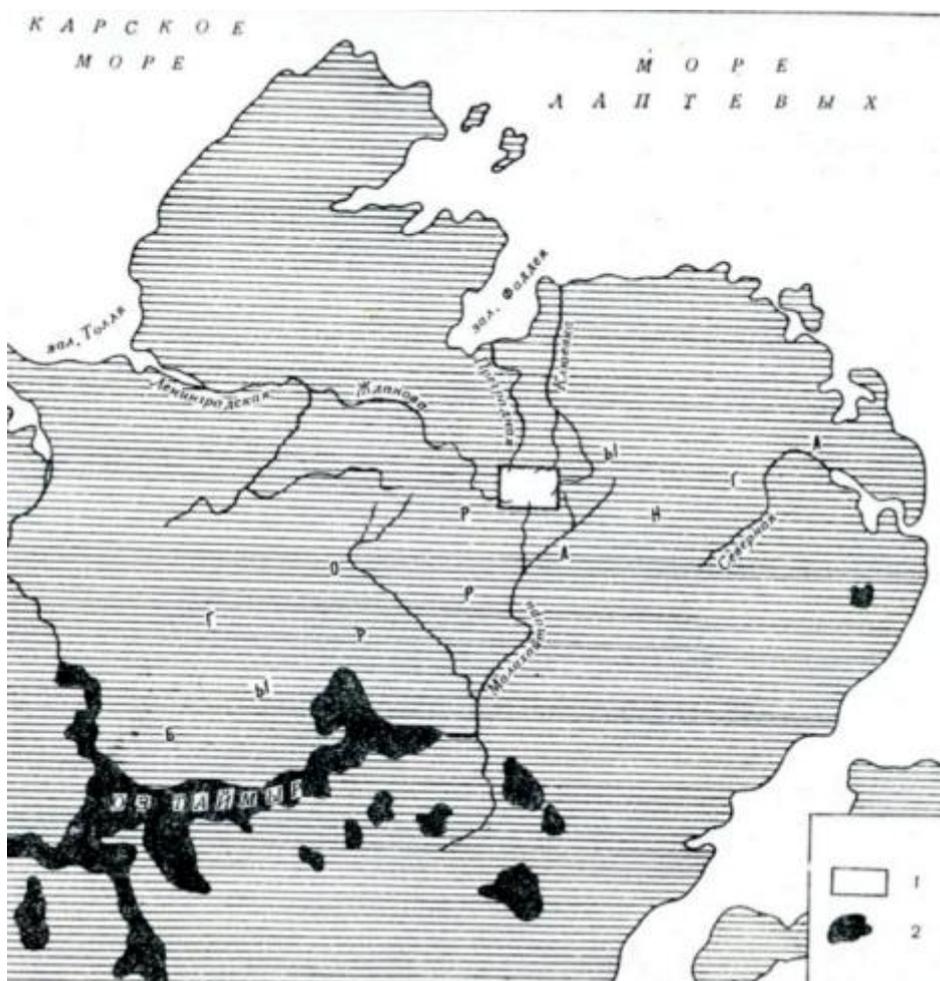


Рис.1.Схема северо-восточной части полуострова Таймыр,

- 1. район оледенения,
- 2. озеро

1979	-42.0	-44.5	-32.5	-19.9	-9.4	9.5	15.8	8.9	1.1	-15.0	-28.7	-28.8	-15.5
1980	-33.8	-28.8	-29.7	-16.3	-6.5	2.2	12.3	11.5	2.2	-7.8	-31.5	-29.9	-13.0
1981	-20.3	-31.2	-27.6	-15.8	-10.1	4.9	10.7	10.2	-0.2	-13.6	-19.8	-28.9	-11.8
1982	-36.7	-28.3	-30.9	-15.8	-9.2	3.5	11.1	11.6	1.6	-17.9	-32.4	-29.8	-14.4
1983	-29.4	-29.3	-24.4	-21.3	-7.2	6.4	10.7	11.2	3.5	-9.6	-18.6	-30.5	-11.5
1984	-26.3	-31.4	-25.8	-23.9	-7.8	6.3	18.3	8.1	3.2	-11.2	-26.9	-29.2	-12.2
1985	-34.1	-32.0	-26.7	-18.5	-8.6	7.9	11.6	8.7	2.7	-10.3	-21.0	-29.5	-12.5
1986	-33.5	-28.7	-28.9	-20.4	-7.8	3.4	14.4	8.4	0.8	-9.7	-21.5	-33.1	-13.1
1987	-40.5	-34.4	-30.0	-17.6	-6.7	0.9	12.6	9.6	2.0	-11.1	-27.9	-32.4	-14.6
1988	-27.6	-30.8	-26.4	-22.9	-5.2	7.7	10.6	8.5	2.9	-12.5	-24.2	-19.3	-11.6
1989	-31.9	-26.4	-23.0	-18.7	-4.8	1.1	9.1	6.9	-1.0	-12.4	-31.4	-26.7	-13.3
1990	-35.5	-30.5	-18.5	-11.8	-4.5	10.2	12.8	8.5	3.0	-12.5	-31.5	-32.3	-11.9
1991	-35.5	-36.8	-28.2	-16.4	-6.7	3.8	14.3	8.8	4.8	-12.7	-22.4	-27.6	-12.9
1992	-31.9	-32.9	-26.1	-20.2	-5.2	2.9	10.6	8.6	-1.3	-19.1	-27.0	-30.2	-14.3
1993	-26.4	-29.5	-22.8	-17.5	-7.3	6.0	7.9	8.6	2.6	-13.3	-22.7	-29.1	-12.0
1994	-37.7	-36.5	-21.4	-19.0	-6.8	4.0	13.3	7.1	0.5	-7.4	-26.3	-26.9	-13.1
1995	-30.6	-24.5	-24.4	-15.2	-8.5	4.3	13.1	11.6	0.8	-10.9	-26.4	-30.9	-11.8
1996	-34.2	-25.0	-23.7	-18.4	-7.1	1.8	13.5	8.3	-2.0	-11.2	-18.6	-34.6	-12.6
1997	-32.7	-35.4	-25.3	-8.7	-2.5	5.8	13.5	8.0	4.3	-5.8	-28.3	-33.1	-11.7
1998	-33.5	-35.4	-24.1	-19.2	-8.0	5.3	11.7	12.4	-1.9	-19.1	-29.3	-30.4	-14.3
1999	-33.7	-23.5	-31.5	-17.9	-4.3	6.3	12.6	9.0	1.3	-12.6	-23.7	-25.5	-12.0

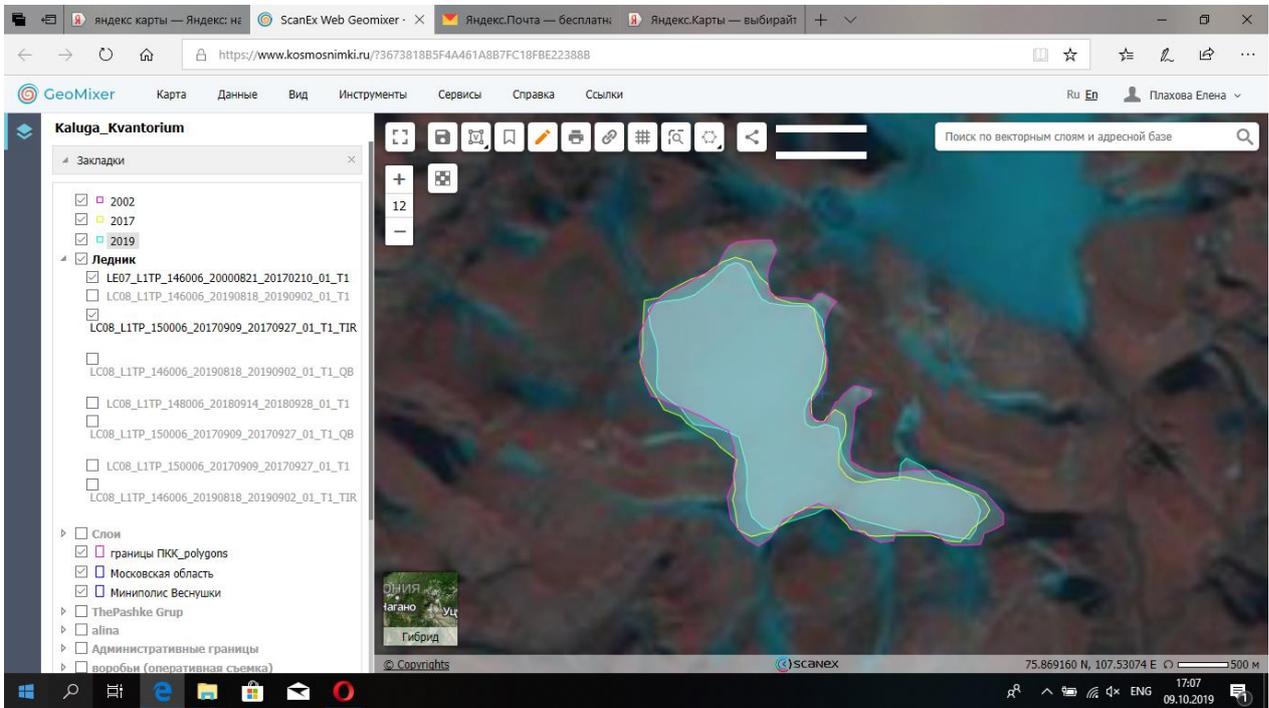
1999	-33.7	-23.5	-31.5	-17.9	-4.3	6.3	12.6	9.0	1.3	-12.6	-23.7	-25.5	-12.0
2000	-31.8	-27.3	-27.1	-15.3	-4.8	4.9	12.7	12.8	1.0	-13.8	-27.1	-35.9	-12.6
2001	-38.5	-33.9	-28.8	-23.2	-4.6	10.2	14.6	10.6	2.4	-12.1	-16.2	-23.6	-11.9
2002	-39.5	-34.3	-20.6	-19.7	-9.2	10.3	13.7	11.5	-1.4	-12.8	-24.8	-31.7	-13.2
2003	-29.5	-36.1	-25.4	-15.9	-4.1	8.3	11.2	10.7	4.5	-11.2	-28.9	-24.7	-11.8
2004	-35.0	-37.6	-33.3	-17.9	-7.9	3.4	11.7	7.8	2.3	-12.5	-22.4	-28.6	-14.2
2005	-27.7	-29.3	-27.0	-16.6	-3.3	7.9	12.4	6.8	4.8	-10.7	-23.2	-26.6	-11.0
2006	-28.6	-26.1	-26.2	-21.8	-6.8	5.9	15.5	8.3	1.1	-14.3	-23.4	-25.3	-11.8
2007	-25.3	-41.2	-26.0	-6.6	-6.7	6.2	11.8	9.2	2.3	-7.5	-25.8	-31.4	-11.8
2008	-25.0	-32.2	-25.9	-16.5	-3.6	6.1	10.5	10.3	2.8	-8.4	-22.1	-29.4	-11.1
2009	-24.1	-34.7	-29.1	-12.8	-5.7	8.0	14.5	9.5	4.3	-7.1	-22.7	-35.3	-11.3
2010	-28.9	-35.0	-24.2	-13.6	-1.4	8.3	12.6	9.7	1.2	-11.0	-21.2	-32.2	-11.3
2011	-26.0	-32.8	-17.2	-10.5	-1.8	8.2	13.0	11.0	4.2	-9.0	-21.9	-23.7	-8.9
2012	-29.1	-23.9	-24.2	-14.7	-4.0	9.6	15.3	10.1	5.0	-13.2	-21.8	-27.7	-9.9
2013	-32.9	-36.0	-30.9	-15.1	0.0	7.7	14.7	10.0	1.3	-10.6	-20.0	-29.6	-11.8
2014	-38.5	-32.7	-19.5	-10.1	-3.2	9.5	14.0	7.4	2.1	-12.8	-27.8	-24.6	-11.4
2015	-33.5	-33.0	-22.5	-16.2	-4.7	8.3	12.6	8.3	2.8	-8.5	-19.6	-28.7	-11.2
2016	-21.4	-29.2	-21.6	-13.6	-5.2	9.2	12.9	9.0	5.8	-8.3	-25.0	-37.0	-10.4
2017	-27.9	-31.5	-15.2	-14.2	-6.5	7.8	11.8	7.9	1.2	-9.9	-26.0	-27.8	-10.9
2018	-29.7	-28.2	-30.1	-14.7	-5.5	14.0	9.5	12.2	3.4	-4.2	-24.8	-23.8	-10.2
2019	-32.0	-24.8	-18.2	-15.5	-5.9	11.3	12.7	15.1	3.7	999.9	999.9	999.9	999.9

Таблица 1. Средние температуры в Хатанге

Источник: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/20891.htm>

# Приложение III.

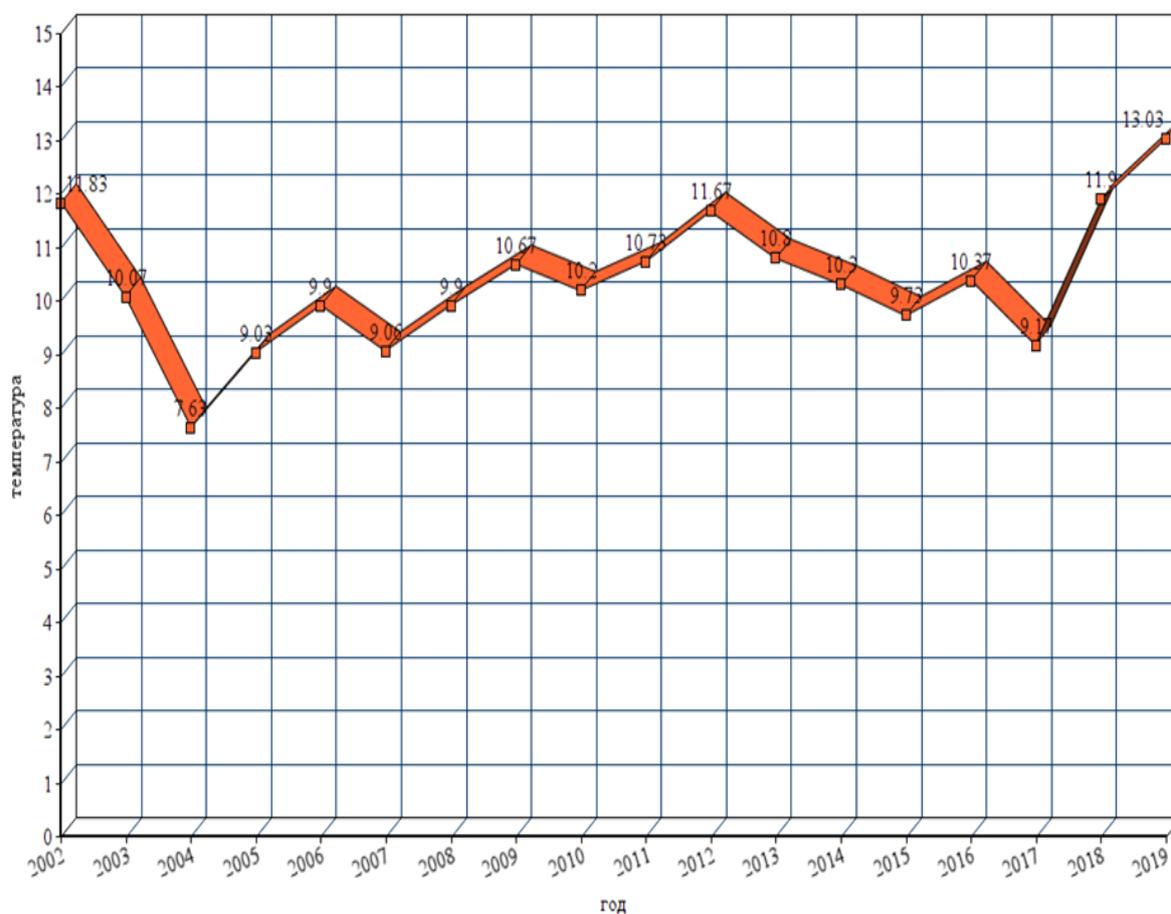
## Динамика изменения площади ледника Неожиданный с 2000 по 2019 год по данным ДЗЗ



Год	S, км <sup>2</sup>	V, км <sup>3</sup>
2000	4.78	.96
2017	4.32	.77
2019	3.78	.55

Таблица 2. Сравнительные характеристики ледника Неожиданный.

**Приложение V. График изменения средних летних температур по архивным данным метеостанции Хатанга**



## Приложение VI.

**Диаграмма сравнения уменьшения таяния площади ледника  
Неожиданный за 17 лет (2000-2017) и за 2 года (2018-2019)**

