

**Анализ потенциальных опасностей, связанных с
динамическими изменениями ледника Вавилова на острове
Октябрьской революции архипелага Северная Земля**

Учебно-исследовательская работа

Выполнил:

Новичихин Иван Владимирович,
КГАОУ «Школа космонавтики», 9 кл.

Руководитель:

Лемешкова В.В.,
учитель географии

КГАОУ «Школа космонавтики»

Научный руководитель:

Кучейко А.А.
к.т.н. Генеральный Директор ООО "Рисксат"

Железногорск – 2019

Содержание:

Введение		3
Глава I	История архипелага Северная Земля	4
Глава II	Исследование прошлых лет	6
II.1	Североземельская экспедиция 1931-32гг.	7
II.2	Гляциологический стационар «Купол Вавилова»	7
Глава III	Исследование за период 2014-2018гг	8
III.1	Материалы для анализа происходящего	8
III.2	Выявление динамики изменения	9
III.3	Прогноз на будущее	12
Заключение		
Выводы		

АННОТАЦИЯ

В данной работе рассмотрены динамические изменения ледника Вавилова на острове Октябрьской революции архипелага Северной Земли и проанализирована потенциальная опасность увеличения шельфовой зоны ледника. Практическое значение изучения ледника Вавилова заключается в установлении его роли в образовании айсбергов, а также в связи с перспективами хозяйственного освоения освобождающихся ото льда северных территорий.

Исследование показало, что ледник активен с 2012 года, пики активности – 2014-2016 года. Ледник продуцирует айсберги, мешающие потенциальной высадке экспедиций на остров и судоходству Севморпути. Исследование проведено на основании анализа космических снимков, полученных с ресурса EarthExplorer.

Введение

В вопросах современного развития Земли особую роль отводят проблема изучения криогенных территорий. Геологическая деятельность ледников и созданные ледниками формы рельефа предопределили облик большей половины территории нашей страны и именно в северных пространствах, где в связи с глобальными изменениями климата наблюдаются наиболее динамичные изменения геодинамическим агентам освобождающихся ото льда пространств.

Кроме этого, площадь распространения ледников, продолжительность их существования являются важнейшими вопросами климатологии, для ответа на которые необходимы новые данные.

Наше исследование посвящено геологической деятельности ледника Вавилова, расположенного на острове Октябрьской Революции, в связи с тем, что ледниковый комплекс представляет интерес для исследователей, так как здесь наблюдаются природные явления, противоречащие общей тенденции состояния ледникового покрова северных территорий. Практическое значение изучения арктических покровных ледников заключается в изучении их роли в образовании айсбергов, а также в связи с перспективами хозяйственного освоения освобождающихся ото льда северных территорий. Ледник Вавилова за период 2012 – 2016гг из стабильного купольного превратился в пульсирующий и продуцирует айсберги, представляющие потенциальную опасность судам Северного Морского пути.

В данной работе мы рассматриваем ледник Вавилова на острове Октябрьской революции архипелага Северной Земли и анализируем потенциальную опасность освоения хозяйства на архипелаге.

Цель: оценить потенциальную опасность для хозяйственной инфраструктуры динамических изменений ледника Вавилова на острове Октябрьской революции.

Задачи:

- Дать анализ динамических изменений ледника Вавилова за период 1968 по 2018 гг.
- Измерить изменения шельфовой части ледника Вавилова

- Описать динамику пульсации ледникового языка
- Дать прогноз возникновения опасных ситуаций на морской трассе

Гипотеза: непредсказуемое поведение ледника Вавилова может помешать созданию выгодного портового хозяйства на западном побережье о. Октябрьской революции

Объект исследования: ледник Вавилова.

Предмет исследования: динамические изменения ледника Вавилова за период с 1976 по 2018 год

Методы исследования: оконтуривание, системный анализ, дешифрирование.

ПО Исследования: QuantumGIS, EO Browser.

В процессе работы были использованы общенаучные методы познания: описание, анализ и синтез, классификация и типологизация. Системный метод дал возможность рассмотреть динамику ледника на выбранной территории. Кластерный анализ позволил выделить из всех спектров космического снимка те, где ярче выражена дифференциация пикселей. «Оконтуривание» применили для выделения шельфовой части ледника. Сравнительный анализ позволил сопоставить результаты обработки разных снимков и выявить произошедшие изменения.

Глава I.

Архипелаг Северная Земля – это самое крупное открытие XX века; также это самый северный архипелаг в Азии, его площадь 18 325 км², он имеет 4700 км³ запасов пресной воды, законсервированной в ледниках [рис. 1]. Льдом покрыто около 50% общей площади островов. В составе архипелага четыре крупных острова (Октябрьской Революции, Большевик, Комсомолец и Пионер) и множество более мелких.

Северная Земля была открыта в 1913 г. Русской гидрографической экспедицией под руководством Б.А. Вилькицкого на кораблях «Таймыр» и «Вайгач». Официальное название «Земля Императора Николая II» в честь царствовавшего тогда российского императора архипелаг получил в 1914 г.; в Северную Землю переименован в 1926 г. Архипелаг впервые был детально исследован и нанесен на карту Н.Н. Урванцевым и Г.А. Ушаковым в ходе Североземельской экспедиции Всесоюзного Арктического института (ВАИ) в 1930–1932 гг. В 1948–1951 гг. геологическая экспедиция Научно-исследовательского института геологии Арктики (НИИГА) проводила геологические и

топографические съёмки и гляциологические исследования на крупных островах; в 1951–1953 гг. была выполнена аэрофотосъёмка большей части архипелага.

Климат района характеризуется низкой среднегодовой температурой ($-13...-14^{\circ}\text{C}$), сравнительно небольшим количеством осадков, холодным коротким летом и суровой продолжительной зимой. В летние периоды происходят вторжения тёплого континентального воздуха, что создаёт благоприятные условия для таяния снега и льда. Талые воды ледников питают множество сравнительно небольших островных рек длиной до 60 км, которые функционируют не более трёх месяцев в году, промерзая зимой до дна. Большие выводные ледники, перекрывая речные долины, подпруживают крупные озёра глубиной до 100 м.

Оледенение архипелага относится к покровному типу и представлено сложными ледниковыми комплексами и отдельными ледниками [рис. 2]. К ледниковым комплексам относятся щиты и сложные ледниковые купола с выводными ледниками по периферии.

Скорости движения ледниковых куполов невелики – не более первого десятка м/год, но дренирующие их выводные ледники могут двигаться со скоростями 100–150 м/год и образуют много айсбергов. Годовой айсберговый сток всех ледников Северной Земли оценивается в 0,45–0,55 км³ льда. Кроме того, довольно много небольших простых куполов и ледников горного типа: долинных, каровых, висячих и др.

Ледники располагаются на шести островах архипелага. Самое большое оледенение находится на острове Октябрьской революции. Его общая площадь 7946 км², или 58% площади острова. Сложный ледниковый комплекс, состоящий из трёх щитов – Русанова (956 км²), Карпинского (2561 км²), Университетский (1803 км²) и шельфового ледника Матусевича (241 км²), расположен в восточной части острова. В состав этого комплекса входит более ста ледников: 21 купол, 49 выводных ледников, два шельфовых ледника и 29 ледников крутых склонов. Щит Карпинского прорывается горами Туманными.

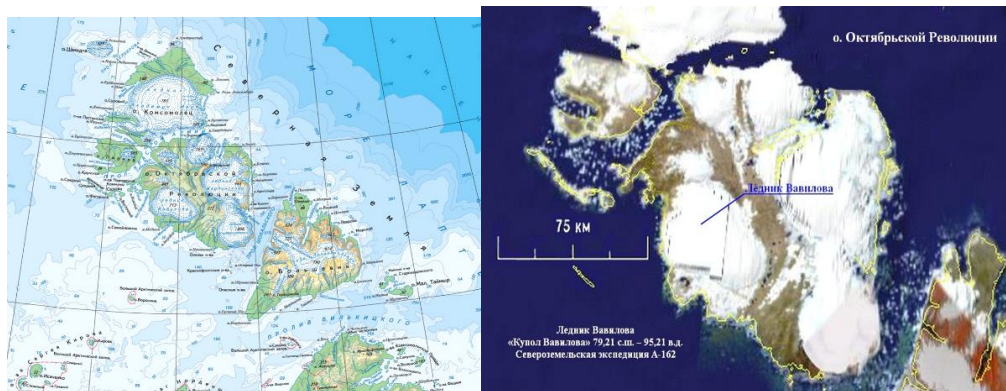
В юго-западной части острова находится ледниковый комплекс Вавилова (площадь 1817 км², высота 728 м). Он представляет собой купол, с которого берут начало три небольших выводных ледника. В северо-западной части острова расположен ледниковый комплекс Альбанова – сложный купол (площадь 398 км², высота 524 м) с одним выводным ледником (10,6 км²) и ледниковый комплекс Дежнёва (124 км², высота 434 м) – купол с двумя выводными ледниками. Все они оканчиваются на суше. Кроме того, на

острове 15 ледников, не входящих в комплексы – три небольших купола, один висячий ледник, три каровых и восемь присклоновых ледников.

Глава II. Исследование прошлых лет

Ледник Вавилова вплоть до 2002 года представлял собой стабильное купольное образование, по описанию соответствует покровным ледникам гренландского типа [Калесник, 1939]. Из тела ледника спускается три небольших выводных языка, которые в летний период дают начало водным потокам, уходящим в залив Панфиловцев [рис. 3].

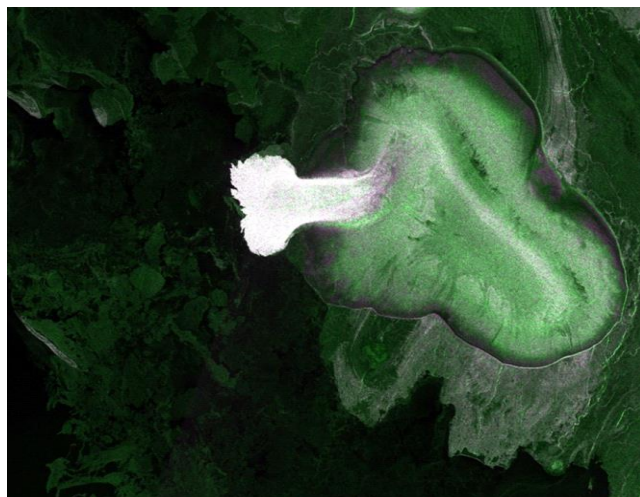
За последние 50 лет выводные ледники на островах Северной Земли отступили от 130 м до 208 м, а общее сокращение площади составило 136,2 километров. Ледник Вавилова за этот период из стабильного купольного превратился в пульсирующий [3]. Как показывают космические снимки ледниковый комплекс находился в стабильном состоянии и не доходил до моря, оканчивался в пределах прибрежной равнины до 2014 года. Как видно на рисунке 2, один из выводных языков ледника вышел на шельф, образовав новый шельфовый ледник, что приводит к появлению айсбергов в заливе Панфиловцев [рис. 4].



Исследуемый нами ледник Вавилова начали анализировать в основном в период с 50-х до конца 80-х годов XX века.



Рис. 1. Карта-схема подледного рельефа ледникового купола Вавилова. Изолинии проведены через 40 м



Глава II.1 Североземельская экспедиция 1931-32гг.

Остров впервые исследован и нанесён на карту экспедицией Г. А. Ушакова и Н. Н. Урванцева в 1930—1932 годах. В 1935 году в юго-восточной части острова была основана полярная станция «Мыс Оловянный», первым начальником которой был Э. Т. Кренкель.

Глава II.2 Гляциологический стационар «Купол Вавилова»

После исследований Североземельской экспедиции в 50-х годах, в 1974 г. на леднике Вавилова был создан гляциологический стационар ААНИИ под названием «Купол Вавилова». Была реализована большая программа исследований: измерялись составляющие вещественного баланса и температурный режим ледника, изучались структуры льда, велись гляциоклиматические наблюдения. Гляциологи ААНИИ получили на ледниковой шапке Вавилова целый комплекс уникальных результатов. Это было особенно ценно, если учесть, что оледенение Северной Земли, в отличие от других полярных архипелагов, не изучалось по программе Международного геофизического года (1957—1959).

На данной станции был впервые применен метод радиозондирования для изучения режима ледниковых объектов. С помощью этого метода проводилось профильное, площадное и точечное определение толщины ледника и высот ледникового ложа, оценка температурного состояния ледника, обнаружение и исследование неоднородностей внутреннего строения - моренных включений, тектонических несогласий, динамических особенностей, напряженного состояния льда, определение скорости движения ледников по смещению с течением времени флуктуационной картины отраженных ложом сигналов.

Весной 1976 г. в месте, выбранном для термического бурения в северной части ледника

Вавилова, радиолокационной разведкой ложа было определено, что толщина льда в 200-метровом радиусе от точки бурения примерно одинакова, а ложе ровное и гладкое. Однако при бурении в том же году ложе не было достигнуто, хотя термобур прошел контрольную отметку толщины, определенную радиолокационным методом. При измерении углов наклона скважины оказалось, что ее ствол на ряде горизонтов весьма значительно отклонялся от вертикали из-за накопления криоконита на забое скважины.

Весной 1977 г. в результате усовершенствования техники термобурения удалось пройти скважину до дна ледника. Данные о толщине льда, полученные при бурении и радиолокации, оказались близкими: 459 и 470 м соответственно [рис. 4]. Отсчет запаздывания отраженного сигнала относительно момента излучения производился по положению оснований фронтов зондирующего и отраженного сигналов, поэтому данные о толщине по радиолокационной съемке при ее массовом выполнении всегда завышены. Максимальная ошибка при значительных ослаблениях радиолокационного сигнала равна произведению скорости распространения этого сигнала во льду и половины длительности переднего фронта излучаемого сигнала. Величина 470 м, полученная радиолокацией, не учитывает ошибки, связанной с фактом потери части сигнала; на самом деле длительность переднего фронта излучаемого сигнала в применявшихся на стационаре комплексах радиолокационной техники составляла 0,1-0,15 мкс, или превышение истинного значения толщины - 8,4- 12,2 м. При учете этой ошибки соответствие данных бурения и радиолокации было бы еще больше.

Изучение ложа ледника и определение его высот относительно уровня моря было начато в 1968-1969 гг., когда на Северной Земле работали две летные экспедиции ААНИИ. Тогда на леднике Вавилова был получен всего один неполный разрез ледника. После создания стационара зондирование купола Вавилова выполнялось и с самолета, и с наземного транспорта. К 1978 г. удалось покрыть купол сетью галсов общей протяженностью около 250 км, что дало возможность составить карту-схему рельефа ледникового ложа.

Материалами для составления карты-схемы послужили данные радиозондирования льда и барометрического нивелирования поверхности ледника, полученные в 1974-1978 гг. В.И. Боярским, Б.А.Федоровым, В.И. Чудаковым при участии Л.С. Говорухи, осуществлявшего штурманскую прокладку маршрутов и привязку их к местности. Наибольший массив данных получен в 1977 г., когда радиолокация проводилась с помощью передвижной

станции, оборудованной гиropolукомпасом и одометром, что обеспечило приемлемую точность прокладки галсов зондирования. В этот сезон использовалась радиолокационная техника с энергетическим потенциалом около 150 дБ, обеспечившая регистрацию отраженных сигналов значительной амплитуды, а, следовательно, небольшое превышение измеренных значений толщины над истинным - не более 5 м. Еще одна проверка точности измерений проведена в мае 1979 г. в центральной части купола Вавилова, где скважина достигла дна на глубине 556 м при радиолокационном измерении толщины, равном 551 м. Радиозондирование купола Вавилова подтвердило прежние геолого-геоморфологические предположения о слабой расчлененности коренного рельефа, ныне погребенного ледником. Абсолютные отметки рельефа ложа оказались такими же, как и в перигляциальной зоне купола Вавилова, основная часть которого перекрывает около 1000 км внутренней равнины о. Октябрьской Революции. Сходными оказались и характер расчленения, и относительные превышения. В рельефе ложа выделяется сеть слабоврезанных долин, по-видимому, эрозионного происхождения. Их плановое положение и элементы вреза должны быть уточнены после сгущения сети галсов, что предполагается сделать в ближайшее время, особенно по периферии купола и в его южной половине. Большая часть ложа купола находится выше уровня моря, лишь на юго-западе оно понижается до отметки минус 40 м, где ледник подходит к берегу.

Составленная впервые карта рельефа ложа купола Вавилова [рис. 4] позволит уточнить многие морфометрические характеристики ледника, его объем, показатели расчлененности и относительные превышения основных элементов рельефа. Она существенно дополняет массив данных, необходимых для математического моделирования современного режима купола.

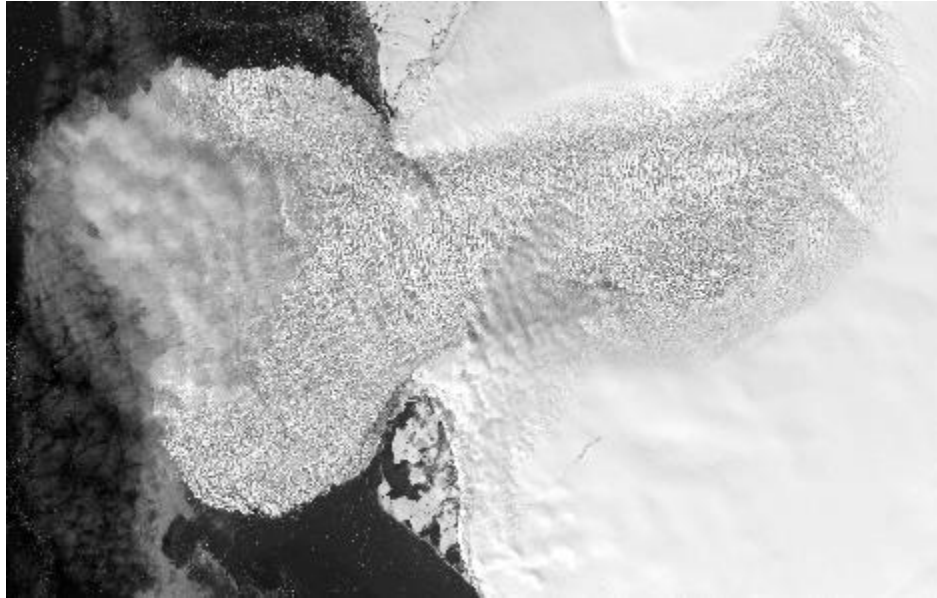
Глава III. Исследование за период 2014-2018гг

Нами было произведено исследование ледника Вавилова, так как до 2014 года на нём не происходили явления, не противоречащие общим тенденциям явлений на данных территориях.

Глава III.1 Материалы для анализа происходящего

Полноценную информацию о современном состоянии территории и процессах, происходящих на ней мы можем получать, изучая космические снимки. Основным источником информации для работы были космические снимки, взятые с сайта landsat.org

и glcfapp.glcф. Нас интересовали изменения за период с 1976 года до настоящего времени, поэтому нами выбраны снимки в период с апреля по сентябрь 1976 по 2018 гг. Наиболее качественные снимки 2017 года были доступны в архиве космических снимков сайта Landsat.



Снимок 2017 года (приложение 5) сделан спутником Landsat-8. При работе с космическими снимками использовали NextGIS. Это открытый программный пакет по обработке снимков, используемый географическим сообществом. Используя космические снимки, мы провели исследование динамики изменения шельфовой части. В работе мы использовали в основном ресурсы EO Browser и EarthExplorer Геологической службы США - это открытые библиотеки космических снимков космических аппаратов дистанционного зондирования Земли, в частности существует и активно пополняется библиотека снимков серии KA Sentinel, Landsat, Envisat Meris, TERRA Modis и др. Для дешифрирования полученных данных мы использовали QuantumGIS - ПО-инструментарий, где можно производить базовый набор действий. В дальнейшем мы использовали ПО NextGIS, так как там расширенный функционал действий.

В частности, в инструментарии мы сделали наложение векторных слоев шельфовой части ледника в разные моменты времени.

Глава III.2 Выявление динамики изменения

Для объяснения происходящего на леднике Вавилова мы рассмотрели климатические данные и космические снимки за изучаемый период. Явление выхода ледникового языка

на шельф совпадает с периодом проникновения аномально теплых воздушных масс далеко на север в 12-14 годах, что вызвало увеличение количества влаги и поступление новых ледниковых отложений. Это перегрузило верхушки ледника Вавилова, что привело к активизации сползания ледниковых языков.

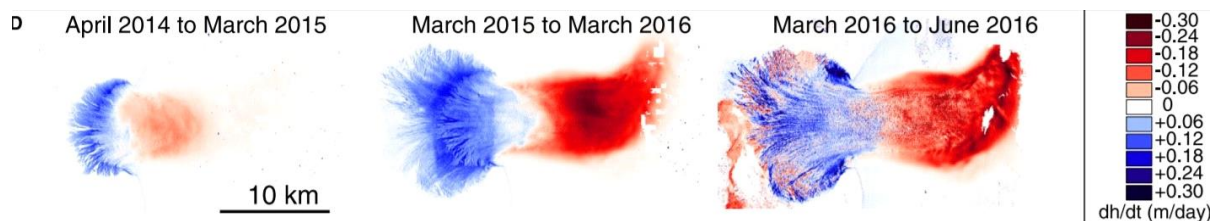
Для работы с космическими снимками мы использовали программное обеспечение QuantumGIS, Космические снимки находили на сайте Sentinel Hub by Sinergise.

Мы выбрали наиболее качественные снимки за период 2017-18гг. и на основании исследования прежних лет, проведенных под руководством Алексея Анатольевича Кучейко, изучили динамику изменений шельфовой части ледника Вавилова и составили таблицу [прил. 6].

Дата замера	Площадь выводной части, км²
20.07.1973	2
22.08.1988	4
04.07.2007	11
24.07.2012	14
19.09.2013	17
28.08.2014	25
11.05.2015	41
22.08.2015	56
05.09.2015	57
26.08.2016	112
04.09.2017	122
08.07.2018	137
09.08.2018	144

Как видно из таблицы, анализ показывает постоянное увеличение шельфовой части ледника. До 2014 года на леднике Вавилова не происходили явления, не противоречащие общим тенденциям явлений на данных территориях. Ледник являлся стабильным, не пульсирующим. На куполе ледника начали происходить не обычные явления с 2014 года. Масса льда и снега перенакопилась на куполе ледника, в связи с этим ледник начал ликвидацию лишней массы. Вся масса снега начала скатываться к шельфу, в

2014 году она уже достигла шельфа.



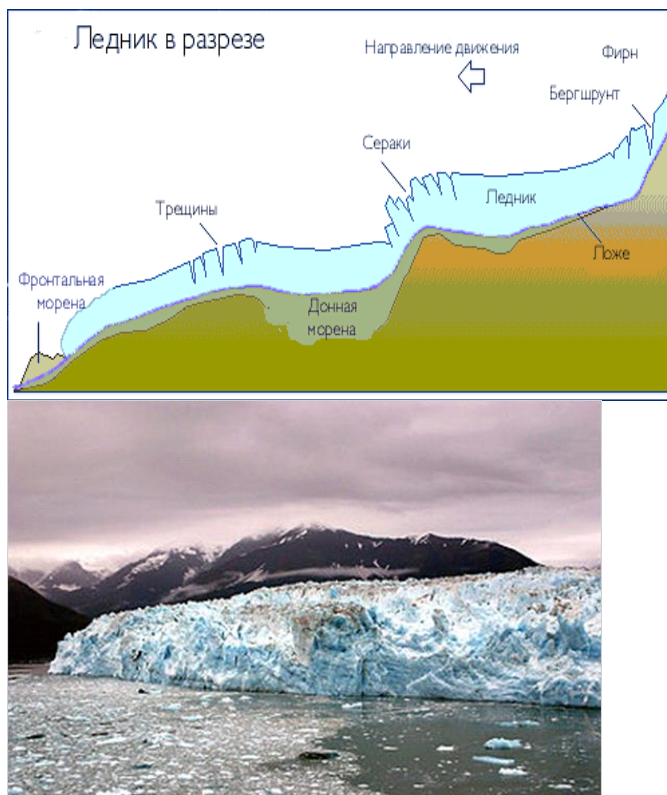
До 2014 г. масса льда и снега не выходила за береговую линию, а с 2014 года по 2017 ледник интенсивно увеличивался с небольшими промежутками, когда он уменьшался за счет разрушения льда по краям. В 2015-16 годах ледник наиболее быстро увеличил площадь шельфовой части ледника, с 2016 года ледник небольшими порциями выталкивает новые порции льда на шельф.

Увеличение шельфовой части ледника, по-видимому, происходит вследствие двух процессов: во-первых, в результате сползающих по склону ледяных масс, которые выталкивают новые порции льда на шельф. Во-вторых, за счет пропитывания водой и расширения глетчера на окраинах шельфового льда. Явление сбрасывания снега и льда с купола называется пульсацией.

Справедливо полагать, что в 2014 году ледник преобразовался из стабильного купольного ледника в пульсирующий. Характер пульсации: происходит равномерными сподвижками, достаточно редко.

Масса льда и снега всегда находится в движении, с каждой пульсацией скорость движения массы увеличивается. Шельфовая часть с каждым годом увеличивается в основном только по периферийной части - по бокам "языка".

В летний период в некоторые моменты времени шельфовая часть уменьшалась в связи с откалыванием айсбергов от шельфовой части ледника. Эти льды в большинстве случаев уносит в пролив Вилькицкого - в одну из главных точек Севморпути. Застаивание айсбергов в этом регионе может привести к затруднению судоходства. Кроме этого, айсберги уносит в залив Панфиловцев на севере. Там в перспективе возможно подробное освоение архипелага и острова Октябрьской Революции в частности, однако айсберги могут помешать заброске экспедиций на острова.



Было проведено так же измерение скорости движения масс. В некоторые моменты скорость движения массы достигала 7 метров в сутки - очень много, сравнивая скорость движения масс у других ледников. В среднем скорость движения масс на леднике Вавилова - 1-5 метров в сутки.

Глава III.3 Прогноз на будущее

По нашим прогнозам, сподвижек льда и снега более не ожидается, так как ледник Вавилова уже сбросил с верхних этажей критическую массу. Для того, чтобы произошла очередная пульсация, нужно накопить массу, и это произойдет нескоро. По нашим оценкам, как минимум 2-3 года сильных сподвижек с верхних этажей не будет, разве что не критичные пульсации, и, вследствие этого, небольшое увеличение шельфовой части.

Заключение.

Ледник Вавилова за последние 5 лет поменял свой характер - из стабильного купольного преобразовался в пульсирующий ледник. Это говорит о том, что, по нашему мнению, климат в Арктике теплеет, снег и лёд подтаивает, масса нарастает и леднику приходится

сбрасывать критическую массу. Потепление климата - не только проблема Арктики, это, очевидно, глобальная проблема.

Ледник Вавилова взят нами под контроль: по мере поступления качественных снимков мы измеряем скорость движения масс льда и снега и анализируем результаты.

Откалывание айсбергов от “языка” так же может привести к непредсказуемым последствиям. Льды могут застояться в проливе Вилькицкого, не проинформированные суда могут потерпеть крушение. Нужно создать систему, оповещающую об опасной ситуации. В планах создание прототипа такой системы. Основа - искусственный интеллект, анализирующий радарные снимки и находящий большие айсберги и анализирующий их движение и поведение. Система будет основана на языке программирования Python, так как этот язык самый перспективный и современный из всех существующих - практически все GIS-программы основаны на Python.

Какова бы ни была причина выхода ледника на шельф, его воздействие на окружающее пространство может быть двояким: если процесс усилится, то нарастающая масса льда может вызвать динамический удар, распространяющийся затем вниз по леднику и приводящий к активизации его шельфовой части, что, по-видимому зафиксировано наблюдениями в 2016 г. Вероятным воздействием ледника может быть изменение баланса массы языка ледника в положительную сторону за счет уменьшения таяния льда в зимнее время. Этот эффект может сказаться лишь в последующие годы и приведёт к наступлению конца. В последующие годы поверхность ледника на шельфе возможно будет повышаться.

Выводы

- Льды не морского, а континентального происхождения затрудняют судоходство и превращают залив Панфиловцев в непроходимое для судов пространство.
- Ледниковые айсберги и в летнее и в зимнее время представляют опасность для судоходства и их количество у западных берегов острова Октябрьской революции продолжает увеличиваться.
- Так как Остров Октябрьской Революции единственный из островов Северной Земли может представлять промышленную ценность в связи с найденными здесь

золотыми россыпями перспектива развития портового хозяйства и судоходства вокруг острова напрямую зависит от ледовой обстановки в окружающих водах.

- Залив Панфиловцев до недавнего времени был удобным местом который использовался полярниками для заброски экспедиций, создания баз, в настоящее время это невозможно из-за развития шельфового конуса ледника.

Список литературы:

1. Богородский В.В. Физические методы исследования ледников. Л./ В.В Богородский, Гидрометеиздат, 1968.
2. Богородский В.В., Говоруха Л.С, Федоров Б.А., Некоторые результаты радиолокационного зондирования арктических ледников\ В.В Богородский, - Л.С. Федоров - Труды ААНИИ, т. 294. Л, 1970.с
3. Федоров Б.А. Радиолокационные исследования ледникового покрова Антарктиды\ Б.А. Федоров - Тр.Советской антарктической экспедиции, т. 49. Л., 1969.
4. Корякин В.С. Что происходит с ледниками Северного Земли? \ В.С. Корякин? Научный журнал «Природа», 2014.
5. ru.Wikipedia.org