



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему «Особенности температурного режима тропосферы полярных  
регионов Северного полушария»

Исполнитель Крылова Алёна Олеговна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доцент, кандидат физико-математических наук  
(ученая степень, ученое звание)

Кашлева Лариса Владимировна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

  
(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Сероухова Ольга Станиславовна  
(фамилия, имя, отчество)

«  »    20   г.

## Содержание

Введение .....	2
Глава 1. Тропосфера как часть атмосферы Земли.....	3
1.1 Физические свойства и описание параметров тропосферы Земли.....	3
1.2 История изучения тропосферы.....	6
Глава 2. Физико-географическое, климатическое описание полярных регионов Северного полушария.....	7
2.1 Физико-географическое описание полярных регионов Северного полушария.....	7
2.2. Метеорологические условия полярных регионов Северного полушария.....	9
2.3 Особенности рельефа полярных регионов Северного полушария (Арктика) .....	9
2.4 Климат и его формирование в полярных регионах Северного полушария .....	14
Глава 3. Анализ особенностей температурного режима тропосферы полярных регионов Северного полушария.....	16
3.1 Что такое аэрологическое зондирование? .....	18
3.2 Физико-географическое и климатическое краткое описание выбранных станций.....	19
3.3 Анализ особенностей температурного режима тропосферы полярных регионов Северного полушария.....	29
Глава 4. Проблема глобального потепления полярных регионов Северного полушария.....	50
4.1 Что такое глобальное потепление?.....	50
4.2 Климатические изменения в полярных регионах, тенденции и причины.....	51
4.3 Происходящие и ожидаемые перемены в полярных регионах.....	58
Список использованной литературы.....	62

## Введение

Полярный регион всегда привлекал внимание ученых и являлся объектом пристального внимания и изучения. В настоящее время весь мир озадачен проблемой глобального потепления, в частности в полярных регионах Северного полушария и Антарктики в Южном полушарии.

Целью данной работы является выделение особенностей температурного режима тропосферы полярных регионов в Северном полушарии, так как Северные регионы Земли играют значительную роль в процессах, воздействующих на окружающую среду в глобальном масштабе, и служат индикаторами природных изменений, в особенности климата. Например, наблюдаемые изменения в Арктике, такие как повышение температуры воздуха, сокращение ледяного покрова, увеличение стока рек и деградация многолетней мерзлоты, уже показывают, что на территории Арктики происходят самые большие изменения по сравнению с другими регионами.

Задачи: сбор данных за 2019 год, посезонное распределение температур, обработка этих данных, построение графиков, а так же анализ.

В первой главе рассматривается понятие о тропосфере, о истории её изучения, о её главных физических свойствах.

Во второй главе рассматривается физико-географическое описание полярных регионов Северного полушария, рельеф, а так же климат.

Третья глава посвящена практической части работы, составление графиков, их анализ и выводы.

В заключении работы собраны полученные результаты и итоговые выводы.

## Глава 1. Тропосфера как часть атмосферы Земли.

### 1.1 Физические свойства и описание параметров тропосферы Земли.

Еще древние греки, занимаясь изучением оболочек земного шара, дали название каждой из них. Так до наших дней сохранилось название «тропосфера», что в переводе с древнегреческого языка означает «изменение или поворот шара».

Тропосфера – это нижний слой атмосферы, который ближе всех расположен к земной поверхности, одновременно и самый плотный слой, который постоянно находится в динамике, как следствие непрерывного движения воздушных масс. В свою очередь, это одна из главных причин возникновения того или иного циклона, смены погоды, которая, зависит от особенностей климата того или иного региона Земли. Тропосферу так же называют «кузницей климата» или «фабрикой погоды» Земли.

Физические свойства тропосферы являются главными факторами формирования погоды и климата Земли. Главными физическими параметрами являются:

1. плотность;
2. температура;
3. влажность;
4. давление.

Разница в температуре, плотности и давлении создаёт циркуляцию воздушных масс, эта разница формирует циклоны, фронты, антициклоны, которые определяют погоду. Ветер в тропосфере обеспечивает движение атмосферы. Ветер переносит влагу, которую удерживают от поднятия выше парниковые газы (например: озон, метан, углекислый газ). Аэрозоли (в частности мелкодисперсные газы) и капли воды накапливаются в тропосфере, создавая разные типы облачности. От конденсации влаги зависит выпадение количества осадков. Разберем тропосферу как метеорологический «элемент».

Тропосфера (от греческого «tropos» — поворот, изменение и сфера), самая

нижняя, преобладающая по массе часть земной атмосферы, до высоты 10-15 километров, в которой сосредоточено 3/4 всей воздушной массы атмосферы.

Тропосфера располагается в высотах:

1. от 8 до 10 километров в полярных широтах;
2. от 10 до 12 километров в умеренных;
3. от 16 до 18 километров в тропических широтах.

Для тропосферы характерно то, что температура с высотой падает в среднем на  $0.65^{\circ}/100$  метров (в отдельных случаях распределение температуры по вертикали варьируется в широких пределах). В тропосфере содержится почти весь водяной пар атмосферы Земли, возникают почти все облака. Так же здесь сильно развита турбулентность, особенно вблизи земной поверхности, а также в так называемых струйных течениях в верхней части тропосферы. Давление воздуха на верхней границе тропосферы соответственно ее высоте (в 5-8 раз меньше, чем у земной поверхности). Следовательно, основная масса атмосферного воздуха находится именно в тропосфере. Процессы, происходящие в тропосфере, имеют непосредственное и решающее значение для погоды и климата у земной поверхности. Нижний слой тропосферы называется приземным слоем, который отличается большим запылением и содержанием летучих микроорганизмов. В нижней части тропосферы (в пограничном слое, или слое трения) хорошо выражен суточный ход температуры и влажности воздуха, скорость ветра с высотой быстро возрастает, направление его приближается к направлению изобар. Над этим слоем скорость ветра чаще всего продолжает возрастать, а направление его меняется по-разному, в зависимости от распределения температуры в толще тропосферы. От пограничного слоя до тропопаузы скорость ветра возрастает примерно в 3 раза. В верхней части тропосферы, вблизи тропопаузы, наблюдаются очень сильные струйные течения. Что касается самого нижнего слоя тропосферы, (несколько десятков метров) непосредственно над земной поверхностью, (приземный слой атмосферы) он является средой обитания

растений, животных и человека. Ветер здесь особенно ослаблен, влажность повышена. Над сушей вертикальные градиенты температуры в дневные часы очень велики, а ночью, наоборот, нередко приземные инверсии температуры.

Высота, до которой простирается тропосфера, над каждым местом Земли меняется изо дня в день. Кроме того, даже в среднем она различна под разными широтами и в разные сезоны года. В течение года тропосфера простирается над полюсами до высоты около 9 километров, над умеренными широтами до 10-12 километров и над экватором до 15-17 километров. Средняя годовая температура воздуха у подстилающей поверхности земли около  $+26^{\circ}$  на экваторе, около  $-23^{\circ}$  на северном полюсе.

Вертикальное распределение температуры в тропосфере зависит от особенностей поглощения солнечного и земного излучений в тропосфере и от конвективной передачи тепла. Солнечные лучи легко проходят через тропосферу, а тепло, которое излучает нагретая солнечными лучами Земля, накапливается в тропосфере: такие газы, как углекислый газ, метан, а также пары воды удерживают тепло.



Рисунок 1.1 Строение Атмосферы

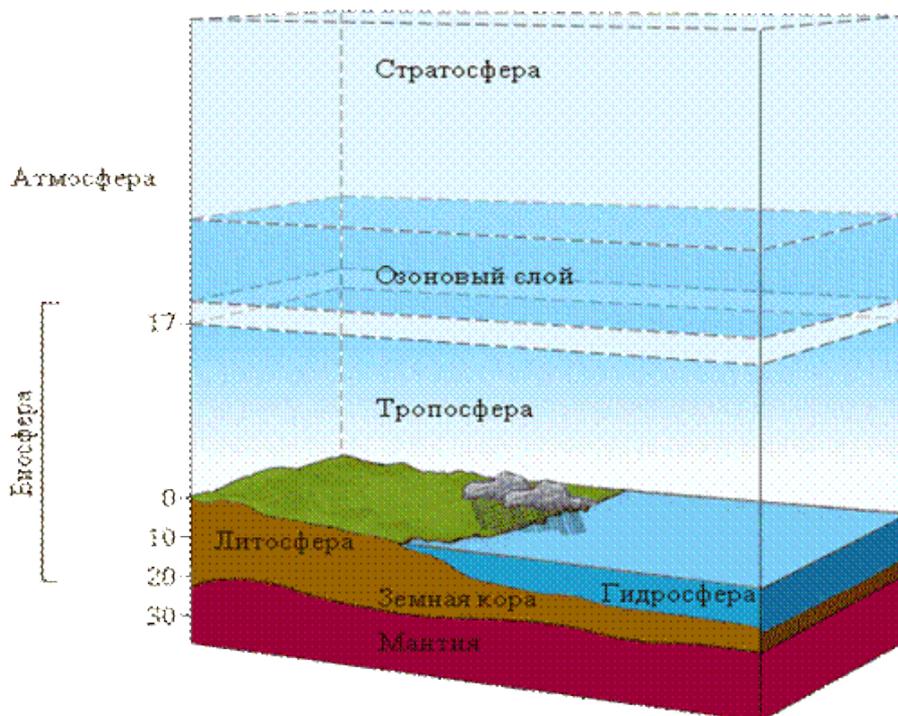


Рисунок 1.2. Строение Биосферы и Атмосферы

## 1.2 История изучения тропосферы

Мы живем на самом дне «воздушного» океана, который простирается вверх на тысячи километров, и все наблюдаемые нами погодные явления происходят в его самом нижнем, тончайшем слое – тропосфере. В тропосфере, как уже было отмечено выше, сосредоточена вся наша погода со всем многообразием погодных явлений, движений воздушных масс, а так же образованием осадков. Для изучения слоев атмосферы длительное время применялись различные косвенные методы, к которым относятся наблюдения за распространением звуковых волн, сумеречным небом, метеорными следами, перемещением облаков и так далее.

В 1930 году впервые для исследования атмосферы выпущен радиозонд, изобретенный советским метеорологом П.А. Молчановым, а в 1933 году Г.А. Прокофьев, К.Д. Годунов и Е.К. Бирнбаум поднялись на стратостате «СССР-1» на высоту 19 км. В 1934 году состоялся выдающийся полет в стратосферу на высоту 22 км, однако при спуске экипаж в составе П.Ф. Федосеенко, А.Б.

Васенко и И.Д. Усыскина погиб. Но записи научных наблюдений сохранились. В 40–50-х годах прошлого столетия благодаря техническому прогрессу и оснащению метеорологии радиотехническими средствами стало возможным непосредственное измерение многих параметров атмосферы на высотах вначале до 20 – 30 километров, а затем и до 60 – 100 километров. Запуски метеорологических ракет и искусственных спутников Земли значительно расширили эти возможности. Важным этапом стал Международный геофизический год, который длился с 1 июля 1957 года по 31 декабря 1958 года. Ученые из 64 стран вели исследования Земли по единой программе. За это время в СССР было запущено 112 метеорологических и 13 геофизических ракет. Полученные международными командами ученых данные позволили детально изучить строение атмосферы и особенности ее циркуляции до высоты 20 – 30 км. Добытая научная информация показала, что в атмосфере существует несколько слоев, которые отличаются друг от друга прежде всего и наиболее отчетливо характером вертикального распределения температуры. И если в начале XX века было принято разделять атмосферу только на две части: тропосферу (нижний слой) и стратосферу, под которой вначале понимались все слои атмосферы, расположенные выше тропосферы, то в настоящее время по рекомендации Всемирной метеорологической организации (ВМО) атмосферу принято делить на тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу и экзосферу.

Глава 2. Физико-географическое, климатическое описание полярных регионов Северного полушария.

2.1 Физико-географическое описание полярных регионов Северного полушария.

Полярный пояс по праву считается самой холодной и безжизненной областью на нашей планете. Отличительной его чертой являются предельно низкие температуры и уникальные природные явления. Природные зоны полярного пояса представлены арктическими и антарктическими пустынями.

В Арктике и Антарктиде, расположенных на обоих полюсах Земли, климат отличается большой стабильностью. Для этих регионов характерна очень низкая температура в течение всего года. Даже в самый разгар лета воздух не прогревается до нуля. Солнечные лучи, касающиеся полярного полюса под углом, не способны как следует прогревать вечную мерзлоту, царящую в этом регионе.

Зимы невероятно суровы, и температура нередко опускается ниже отметки в -50 -60 по Цельсию. Осадков на полюсе выпадает очень мало – не более 200-250 мм. в течение года.

Для природных зон арктического пояса характерно уникальное явление – день и ночь продолжительностью в полгода. Оно обусловлено специфическим наклоном оси планеты, и характерно только для полюсов.

Бескрайние ледяные пустоши, паковые льды, дрейфующие торосы и невероятной величины айсберги – все это составляющие уникального рельефа полярного полюса. Именно льды формируют ландшафт самого южного материка – Антарктиды, и покрывают большую часть Северного полюса. Почва полярных областей скована вечной мерзлотой, которая не прогревается даже в летние месяцы. В этот период возможно лишь таяние прибрежных материковых льдов, которые теряют до 10% своего объема. Однако с наступлением зимы ледяной покров вновь восстанавливается. Сходные, хотя и более мягкие климатические условия существуют над ледниковым щитом Гренландии в Арктике. На уровне моря в приатлантических районах Арктики вплоть до Северного полюса температура воздуха летом около 0 С, а при тёплых вторжениях +5 С. Зимой в среднем около -20 С, хотя зимние погоды из-за вторжения циклонов крайне неустойчивы. В арктическом и американском секторах климат суровее. Температуры воздуха часто опускаются до -50 С и даже среднемесячные температуры доходят до -10 С. Очень часты туманы. Над морем висят морось.

## 2.2. Метеорологические условия полярных регионов Северного полушария.

Для полярных регионов характерны:

- 1) полярный климат;
- 2) низкие температуры;
- 3) сильное оледенение;
- 4) непостоянство смены дня и ночи (24-часовой полярный день летом и полярная ночь зимой).

Северный и Южный полюса — это центры для этих регионов, которые располагаются, соответственно, на арктической полярной шапке и континентальных льдах Антарктиды. В данной работе мы будем рассматривать полярные регионы Северного полушария.

## 2.3 Особенности рельефа полярных регионов Северного полушария (Арктика)

Полярные регионы (по большей части Арктика) Северного полушария имеют два крупнейших структурных элемента: впадину Северного Ледовитого океана и северные окраины материков. Эти структуры имеют следующее строение.

- В пределах морских пространств:
  1. глубоководное ложе Северного Ледовитого океана, где имеются подводные котловины и хребты;
  2. материковый склон, характеризуемый большими уклонами морского дна;
  3. континентальный шельф, представленный мелководной подводной равниной, которая осложнена рельефом архипелагов, земель, островов, полуостровов. Они образуют в пределах шельфового пространства окраинные и внутренние моря, а также заливы, бухты и губы.
- В пределах сухопутной территории:

1. прибрежные равнины, которые тянутся узкой полосой вдоль линии берега или плавно переходят в материковые равнины Евразии и Северной Америки;
2. горные хребты, кряжи, нагорья, возвышенности, которые местами близко подходят к арктическому побережью.

Особенности рельефа Евразийского бассейна полярных вод Северного полушария обусловлены сложившейся здесь комбинацией геологических структур разного происхождения и истории: Восточно-Европейская и Сибирская платформы и складчатые области соответственно. Они состоят из терригенных, карбонатных, хемогенных и вулканических осадочных пород от архейского до четвертичного возраста. Также встречаются легко вымываемые породы (гипс, ангидрит, каменная соль и др.), при этом формируются высокоминерализованные (более 10 г/л) подземные воды, оказывающие большое влияние на химию речных вод, особенно зимой.

Кольский полуостров находится на северо-восточной оконечности Балтийского кристаллического щита, сложенного большей частью гранитами и гнейсами. Основные особенности рельефа полуострова обусловлены многочисленными разломами и трещинами кристаллического щита, а также носят следы мощного воздействия ледников, сгладивших вершины гор и оставивших большое количество моренных отложений. Территория Архангельской области в целом представляет собой обширную равнину со слабо выраженным уклоном к Белому и Баренцеву морям. Равнинность местами нарушается конечно-моренными всхолмлениями, образовавшимися в результате деятельности древнего ледника. На северо-западе области сохранились мощные моренные нагромождения. На востоке в пределы области входят Северный и Средний Тиман – низкогорье, состоящее из ряда параллельных гряд с платообразными вершинами высотой до 400–450 метров. На формирование рельефа большое влияние оказала и эрозионная

деятельность рек. С речным стоком переносится большой объем осадочного материала, в результате чего образуются дельты. Ненецкий округ расположен на Печорской низменности, протянувшейся от Тиманского кряжа до хребта Пай-Хой, и занимает местность, именуемую Малоземельная тундра (на западе) и Большеземельная тундра (на востоке). Рельеф – равнинный, лишь небольшая возвышенность на Югорском полуострове (гора Большая Надея, высота 428 м), что создает благоприятные предпосылки для промышленного освоения территории. На территории округа распространена многолетняя мерзлота.

Рельеф Ямало-Ненецкого автономного округа – низменная равнина, средняя высота до 100 м над уровнем моря, со множеством озер и болот. Правобережная (к востоку от р. Обь), материковая часть округа представляет собой слегка всхолмленное плато с небольшим уклоном на север. По характеру поверхности полуостров Ямал делится на 3 части: Северо-Сибирская низменность, горы Бырранга (высота до 1146 м), тянущиеся с юго-запада на северо-восток, и прибрежная равнина вдоль побережья Карского моря. Широко распространены практически все типы мерзлотных процессов и явлений. Наиболее обычно криогенное выветривание грунтов с формированием пятнистого нанорельефа, развита солифлюкция различных форм.

Значительную часть Таймырского (Долгано-Ненецкого) муниципального района Красноярского края занимает Таймырская низменность, которая представляет собой холмисто-увалистую равнину с высотами от 50 до 250 м, сложенную ледниковыми, озерно-ледниковыми, морскими и современными озерно-аллювиальными и аллювиальными отложениями. Морские равнины сложены глинами каргинского и казанцевского, а на западе санчуговского возраста, обнажения солоноватых глин часто вскрываются в долинах рек и ручьев. Широко развиты криогенные процессы – термокарст, криогенная

солифлюкция, полигонально-жильное льдообразование, криогенное выветривание, пятнообразование и связанные с ним формы микро- и нанорельефа: бугры-байджарахи, пятна-медальоны, дели, термокарстовые просадки, полигонально-валиковые комплексы и др. Эти же процессы характерны для узкой полосы приморских равнин, простирающихся севернее гор Бырранга. Значительную часть территории занимают ледники и вечная мерзлота. На территории Норильского промышленного района расположена Приенисейская равнина и горы Путорана. Равнина является продолжением Западно-Сибирской низменности и представляет собой низменную, заозеренную поверхность со слабым уклоном на северо-запад, сложенную преимущественно ледниковыми, озерно-ледниковыми и аллювиальными отложениями. Горы Путорана включают в себя прилегающие горные массивы Хараелах, Норильское плато, Лонтокойский Камень, Ламские горы. Они сложены очень твердыми диабазами и базальтами, представляющими собой эффузивные и лавовые толщи пермского и триасового возраста, а также легко поддающимися выветриванию вулканическими туфами. Плато сильно расчленено глубокими, крутосклонными речными долинами, расходящимися на все стороны от центральной части массива и достигающими глубины 800–1200 м. Территория Якутии принадлежит в основном к двум крупнейшим тектоническим структурам – Сибирской платформе и Верхояно-Чукотской области мезозойской складчатости. На Сибирской платформе развиты плоскогорья, пластовые плато и равнины, на южной ее окраине, в пределах Алданского щита, находится нагорье с интенсивно расчлененным рельефом. В бассейне верхнего течения Вилюя расположено Вилюйское плато с наивысшей отметкой 962 м. Еще южнее простирается в широтном направлении Приленское плато. Вдоль побережья моря Лаптевых находится Северо-Сибирская низменность. Ее абсолютные отметки преимущественно менее 100 м и лишь в районах распространения холмисто-ледникового рельефа достигают 150–200 м.

Вся Восточная Якутия, включая бассейны рек Алазея, Индигирка, Яна, частично Алдан и Лена (правобережные притоки), является частью Верхояно-Чукотской области мезозойской складчатости. Она весьма неоднородна по рельефу и геологическому строению. Вдоль правобережья реки Лена простирается Верхоянский хребет. Современный рельеф Чукотского автономного округа контрастный и неоднородный. Колымско-Чукотская горная область включает Анюйское нагорье, северную часть Чукотского нагорья и простирается на восток до Берингова пролива. Здесь преобладает низкогорный рельеф. В бассейне реки Большой Анюй находится группа Анюйских вулканов. Охотско-Чукотская горная область включает Анадырское нагорье и южную часть Чукотского нагорья. Здесь рельеф контрастный, имеет альпинотипный облик, среднегорье сменяется низкогорьем и равнинным рельефом межгорных впадин. Анадырско-Корякская горная область расположена на юго-востоке Чукотки. Значительную ее часть занимает Корякское нагорье, состоящее из хребтов, кряжей, разделенных межгорными понижениями. Анюйская низменность, охватывающая низовья рек Большой и Малый Анюй, Хетаган, Яровая, представляет собой заболоченную, слегка всхолмленную равнину. Большую часть низменности занимают участки с интенсивным развитием термокарста. Морфоструктуры полярных регионов Северного полушария имеют продолжение на прилегающих территориях. Так, рельеф Республики Коми преимущественно равнинный. С юго-востока на северо-запад протягивается Тиманский кряж, на востоке – хребты Северного, Приполярного (высота до 1895 м, гора Народная) и Полярного Урала. Развиты карстовые формы рельефа (воронки, поля, пещеры). Между Уралом и Тиманским кряжем расположена Печорская низменность. Рельеф Ханты-Мансийского автономного округа представлен сочетанием равнин, предгорий и гор. Выделяются возвышенные равнины (150–301 м), низменные (100–150 м), а также низины (менее 100 м). В поймах Оби и Иртыша абсолютные

высоты составляют 10–50 м. Для уральской части округа характерен среднегорный рельеф. Протяженность горной области составляет 450 км при ширине 30–45 км.

#### 2.4 Климат и его формирование в полярных регионах Северного полушария

Полярный климат — это климат полярных районов Земли, для которого характерны круглогодичные отрицательные температуры воздуха с небольшим выпадением осадков (100—200 миллиметров в год). Преобладает в Арктике — зоне Северного Ледовитого океана и в Антарктике. Наиболее «мягким» является в атлантической части Арктики, самый «суровый» — на плато Восточной Антарктиды, в Южном полушарии Земного шара. В классификации Кёппена к полярному климату относятся не только зоны ледового климата, но и климат зоны распространения тундры.

Минимальные температуры в этих районах иногда снижаются до  $-57,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  на острове Врангеля,  $-62\text{ }^{\circ}\text{C}$  на Таймыре, до  $-67\text{ }^{\circ}\text{C}$  на Ямале, до  $-46,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  на Шпицбергене. С апреля и мая по сентябрь арктические регионы часто являются самыми холодными местами Северного полушария.

Огромные территории в Арктике покрыты ледниками, их площадь больше 2 000 000 квадратных километров. Круглогодично покрытая льдами водная поверхность за Полярным кругом составляет, около 11 000 000 квадратных километров зимой и примерно 8 000 000 миллионов квадратных километров летом. Полярный день и полярная ночь обуславливают крайне неравномерное поступление солнечного тепла в течение года. Радиационный баланс в южных районах Арктики положительный, составляет 420—630 Мдж/(м<sup>2</sup> в год) фактически в 2—3 раза меньше, чем в умеренных широтах, а в Арктическом бассейне, как правило, отрицательный [потеря тепла 85—125 Мдж/(м<sup>2</sup> в год) или 2—3 ккал/(см<sup>2</sup> в год)]. Потери компенсируются притоком тёплых водных и воздушных масс.

Полярные регионы получают менее интенсивное солнечное излучение, чем в других частях Земли, так как энергия солнца поступает под косым углом, распространяясь на большую площадь, а также проходят большее расстояние через атмосферу Земли, в которой она может быть поглощена, рассеянной или отраженной, что то же самое, что вызывает зимы холоднее, чем остальная часть года в районах с умеренным климатом. В продолжение разговора о поглощении и отражении, нельзя не сказать о немаловажной роли Альбедо. Альбедо – это отражательная способность поверхности, которая определяется как отношение светового потока, рассеянного телом во всех направлениях, к потоку, падающему на это тело, или отношение отраженной радиации к суммарной радиации Солнца и атмосферы.

Ежегодные эксперименты и исследования показывают то, что значительное влияние оказывает вариация альбедо как в течение суток, так и в сезонном плане. Влияние на альбедо оказывает загрязнение воздуха, а так же суточный ход Солнца, неравномерная затененность отдельных участков поверхности, а так же, о чем было сказано ранее, разный Зенитный угол, под которым распространяется энергия солнца на большие площади, что в свою очередь влияет на поступление солнечной радиации, а так же на наклон оси Земли оказывает существенное влияние на климат полярных областей. Большое количество снега и льда, альбедо которых очень велико, нередко достигает 80-86%, то есть большая часть Солнечной радиации отражается, что способствует холоду в полярных регионах. Так как полярные области являются наиболее удаленными от экватора, они получают наименьшее количество солнечного света.



Рисунок 2.2 Полярные регионы на карте Мира

Глава 3. Анализ особенностей температурного режима тропосферы полярных регионов Северного полушария.

В третьей главе данной работы составим таблицы с температурами в приземном слое тропосферы по данным аэрологического зондирования. Составим графики и проанализируем их. Для изучения температурной динамики, дня наглядности хода температур я воспользовалась интернет ресурсом, веб сайтом <http://weather.uwyo.edu>. Данный веб сайт принадлежит Американскому университету Вайоминга, который находится в городе Ларами, в частности колледжу инженерного дела и прикладных наук.

Во вкладке "soundings", что означает «зондирование», в свободном доступе для каждого посетителя сайта представлены данные с нескольких сотен аэрологических станций. Посетитель портала может выбрать регион, формат, год, месяц день, а так же номер станции.

Для изучения годового хода температуры в тропосфере полярных регионов Северного полушария возьмем несколько станций, которые находятся в разной степени удалённости от моря. Для наглядности и разнообразия в сравнении первая станция находится на суше, вторая станция на крупнейшем

острове в мире Гренландия, третья станция расположена на полярном архипелаге в Северном Ледовитом океане.

Для составления графика годового хода возьмём средние температуры за 2019 год на каждой станции. Таким образом, подготовлена база данных температур.

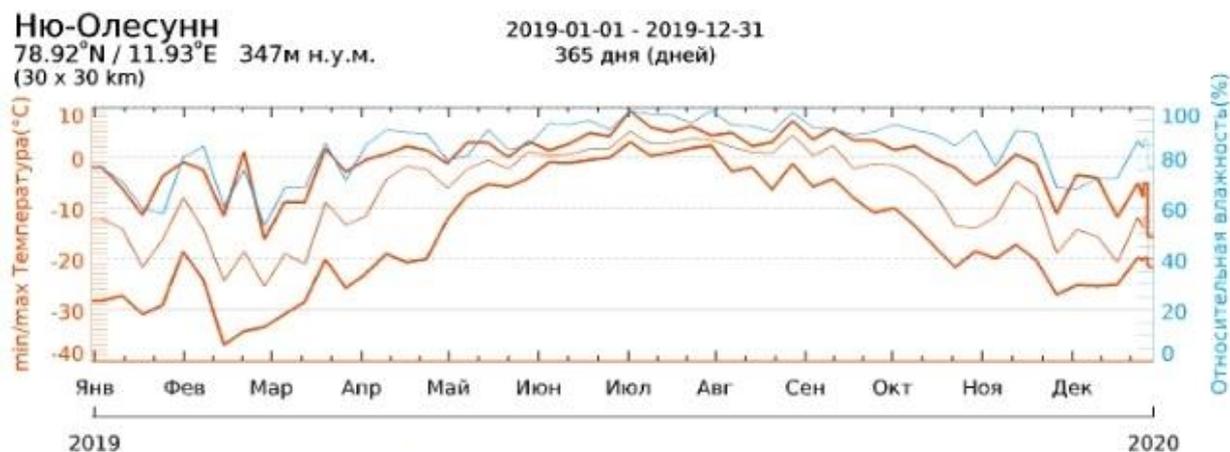


Рисунок 3.1 Годовой ход температуры и осадков на станции Нью-Олесунн

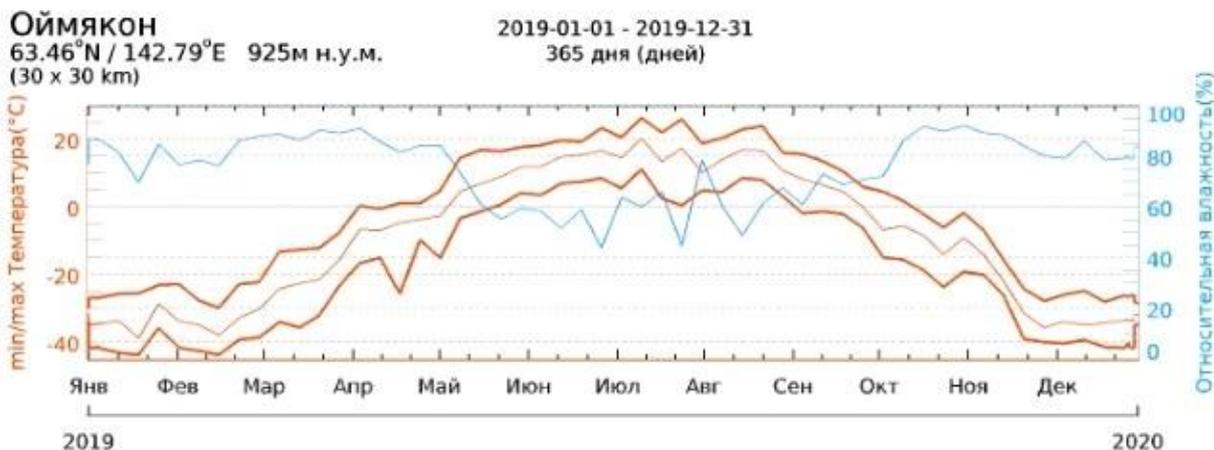


Рисунок 3.2 Годовой ход температуры и осадков на станции Оймякон

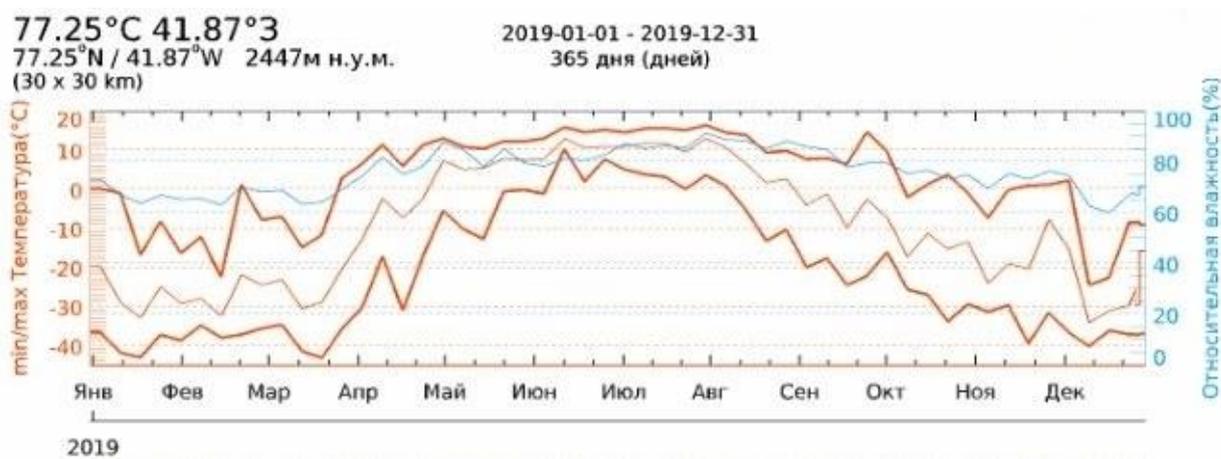


Рисунок 3.3 Годовой ход температуры и осадков на станции Саммит.

На графиках мы видим ярко выраженную тенденцию повышения средней температуры к летнему сезону, экстремально низкие температуры в полярных регионах так же отражены на графике, которые мы наблюдаем в зимний период.

### 3.1 Что такое аэрологическое зондирование?

Аэрологическое зондирование — это определение свойств воздуха и характеристик некоторых атмосферных процессов, с помощью поднимаемых в атмосферу приборов или дистанционными методами. Сюда относятся, прежде всего, измерения ветра, атмосферного давления, температуры и влажности воздуха на высотах до 40 км с помощью выпуска шаров-пилотов (ветровое зондирование) и радиозондов (ветровое и температурное зондирование) на все возрастающей сети аэрологических станций. Применялся и отчасти применяется теперь подъем аэрологических приборов на самолетах (самолетное зондирование), привязных аэростатах (аэростатное зондирование), аэростатах; недавно применены транс-зонды, создающие возможность горизонтального зондирования, т. е. транспортировки приборов на большие расстояния в горизонтальном направлении (на заданной изобарической поверхности).

Высшие слои атмосферы зондируются с помощью ракет и спутников (ракетное и спутниковое зондирование); распределение облачности фотографируется с метеорологических спутников.

К аэрологическому зондированию можно отнести и некоторые другие наблюдения, менее регулярные (напр., над микроструктурой облаков, атмосферным электричеством, радиацией и пр.), преимущественно в аэрологических обсерваториях; для этого применяется, помимо запуска автоматических приборов на шарах, также подъем наблюдателей на самолетах и аэростатах.

Наконец, исследования высоких слоев атмосферы с помощью наблюдений над распространением радиоволн и звуковых волн, спектроскопических и др. наблюдений на земной поверхности можно назвать косвенным аэрологическим зондированием.

### 3.2 Физико-географическое и климатическое краткое описание выбранных станций.

Станция номер 1. Оймякон, международное обозначение станции 24688  
Россия, Республика Саха (Якутия)

Широта                      63°15'                      Долгота                      143°09'

Высота над уровнем моря: 745м

Не каждый знает, где находится Оймякон на карте России. Село стоит на левом берегу реки Индигирка, в восточной части Республики Саха (Якутия). Это приполярные широты, немного южнее Северного полярного круга, если точнее — 63°27'00" северной широты. Высота над уровнем моря составляет 745 м. В этой долине это имеет особое значение, так как высота расположения места понижает температуру на 4 градуса по отношению к теоретически наблюдаемой на уровне моря.

Оймякон – небольшой поселок на левом берегу реки Индигирка, расположенный примерно в двух днях езды от Якутска.

В России это место часто называют «Полюсом холода», а туристам, рискнувшим провести здесь хотя бы пару часов, выдаются сертификаты «из самого холодного места планеты». Зимой в Оймяконе столбик термометра опускается примерно до 42 градусов мороза (самая низкая температура в истории – минус 71). Зато в августе здесь бывает теплеет до +30 С, а примерно с конца мая по середину июля наблюдаются белые ночи, когда светло круглые сутки. Дома до сих пор отапливаются углем и дровами, а машины оставляют в отапливаемых гаражах, в противном случае — не глушат моторы месяцами. Итак, климатические условия на Полюсе холода сложные, а определяются они несколькими факторами. Во-первых, поселок Оймякон расположен в долине, а она находится в небольшом котловане, низине, куда устремляется холодный воздух. Во-вторых, достаточно далеко до океана, поэтому климат Оймякона резко континентальный. В-третьих, высота над уровнем моря. В-четвёртых, близость к Полярному кругу. В результате абсолютный минимум декабря и января -65,4 °С, а февраля -64,6 °С. Средняя температура в Оймяконе в эти месяцы составляет -42 °С до -50 °С. Лето же, напротив, может быть очень жарким. Жара на Полюсе холода держится не долго, но в июле температура может достигать до +34,6 °С. Средняя же температура июля от +14 до +22 °С. По неофициальным данным, рекорд температуры в Оймяконе был зафиксирован в 1938 году и составил -77,8 °С. Можно было бы сказать, что это самая низкая температура в Оймяконе, но никто не знает, а вдруг было и меньше. Дело в том, что в посёлке очень мало термометров, способных отразить мороз ниже -60 °С. Примерно такие отметки (ниже -70 °С) обозначены на двух памятниках температуре.



Рисунок 3.1 Оймякон на карте России



Рисунок 3.2 Фото одноименного памятника в Оймяконе



Рисунок 3.3 Средние температура и осадки в Оймяконе

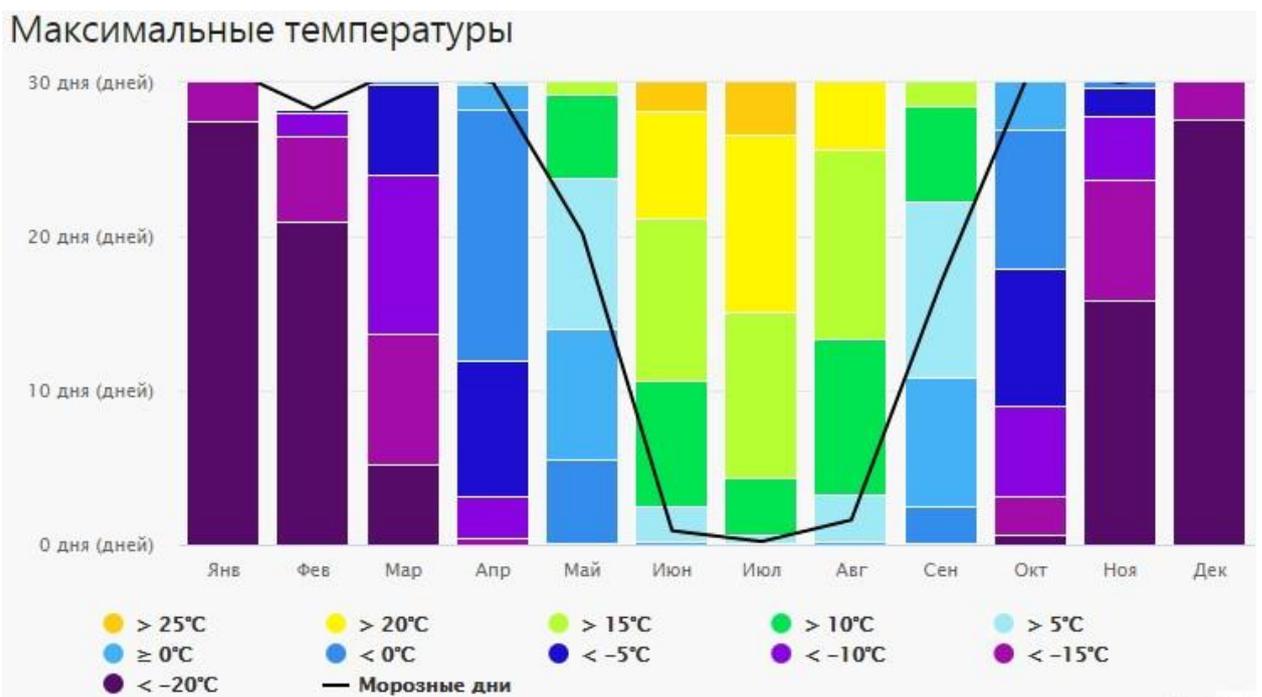


Рисунок 3.4 Максимальные температуры в Оймяконе

Станция номер 2. Нью-Олесунн, Норвегия, провинция Свальбард. Самое северное в мире постоянное общественное поселение.

Международное обозначение станции 01004 , архипелаг Шпицберген  
Широта 78°55'27" с. ш. Долгота 111°55'14" в. д.  
Высота над уровнем моря: 8м

Нью-Олесунн был основан в 1916 году, как и все другие современные поселения архипелага, для добычи угля, которая началась в 1917 году. Однако уже в 1929 году угледобыча была остановлена и возобновилась только в 1945, когда норвежское правительство взяло на себя все расходы. В 1963 году, из-за падения цен на уголь и из-за частых обвалов и взрывов метана в шахтах, повлёкших за собой гибель рабочих, добыча угля была окончательно остановлена. После этого Нью-Олесунн был практически заброшен, однако с 1968 года началось его развитие в роли научно-исследовательского центра.

Помимо самой Норвегии, Нидерланды, Германия, Великобритания, Франция, Италия, Япония, Южная Корея и Китай поддерживают свои исследовательские станции в Нью-Олесунне; в последние годы также ведутся переговоры об открытии российской станции. В 1925, 1926 и 1928 годах из Нью-Олесунна стартовали экспедиции Р. Амундсена и У. Нобиле к Северному полюсу на самолётах и дирижаблях. На климат архипелага

Шпицберген влияет его географическое расположение между 74 ° и 81 ° северной широты. Средняя температура июля колеблется от +4 до +6 °С, января — от -12 до -16 °С. Благодаря мощному теплomu североатлантическому, температура на Шпицбергене в зимние месяцы более чем на 20 °С превышает температурные средние показатели для данных широт в России и Канаде. Это делает прибрежные воды судоходными практически круглый год. В отличие от прибрежных районов, защищенные горами внутренние районы архипелага имеют меньшие перепады температур: на 2 °С ниже в летний период, и на 3 °С выше в зимний. На юге Шпицбергена температура выше, чем на западе и севере. Зимой разница температур между северными и южными районами составляет 5 °С, летом — 3 °С. Самая теплая

точка архипелага — остров Медвежий, где температура выше, чем на остальных островах. Шпицберген — место встречи холодного полярного воздуха с мягким и влажным морским воздухом с юга. Это создает области низкого давления и способствует резкому изменению погоды и резким порывам ветра, в особенности зимой. Зимой 17 % всего времени на архипелаге дует сильный ветер, в то время как летом ветер дует всего 1 %. Летом образуется туман с видимостью до 1 километра. 20 % всего летнего времени на Шпицбергене господствуют сильные туманы. На Западном Шпицбергене осадки идут часто, но выпадают в небольших количествах, как правило не превышая 400 мм в Западном Шпицбергене. На островах с восточной стороны архипелага дожди идут гораздо сильнее. Уровень осадков в этом районе может достигать более 1000 мм.

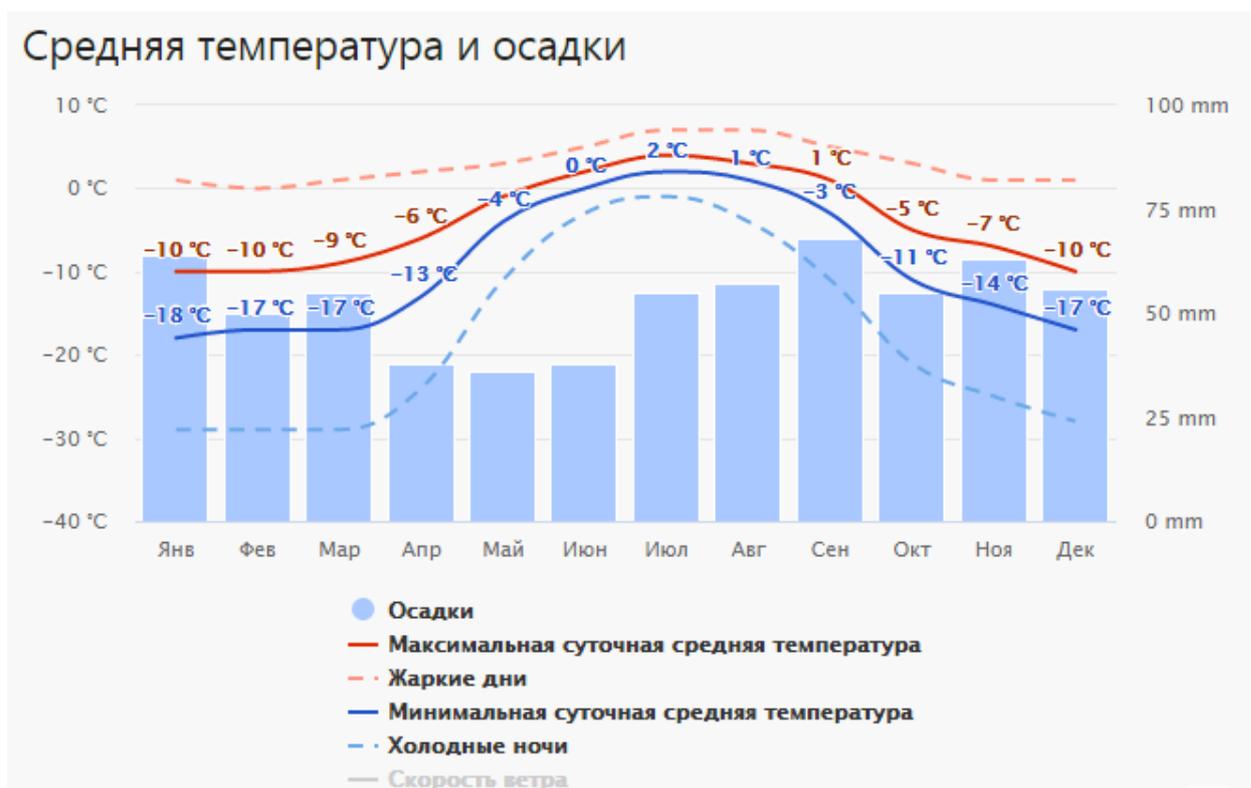


Рисунок 3.5 Средняя температура и осадки в Нью-Олесунн

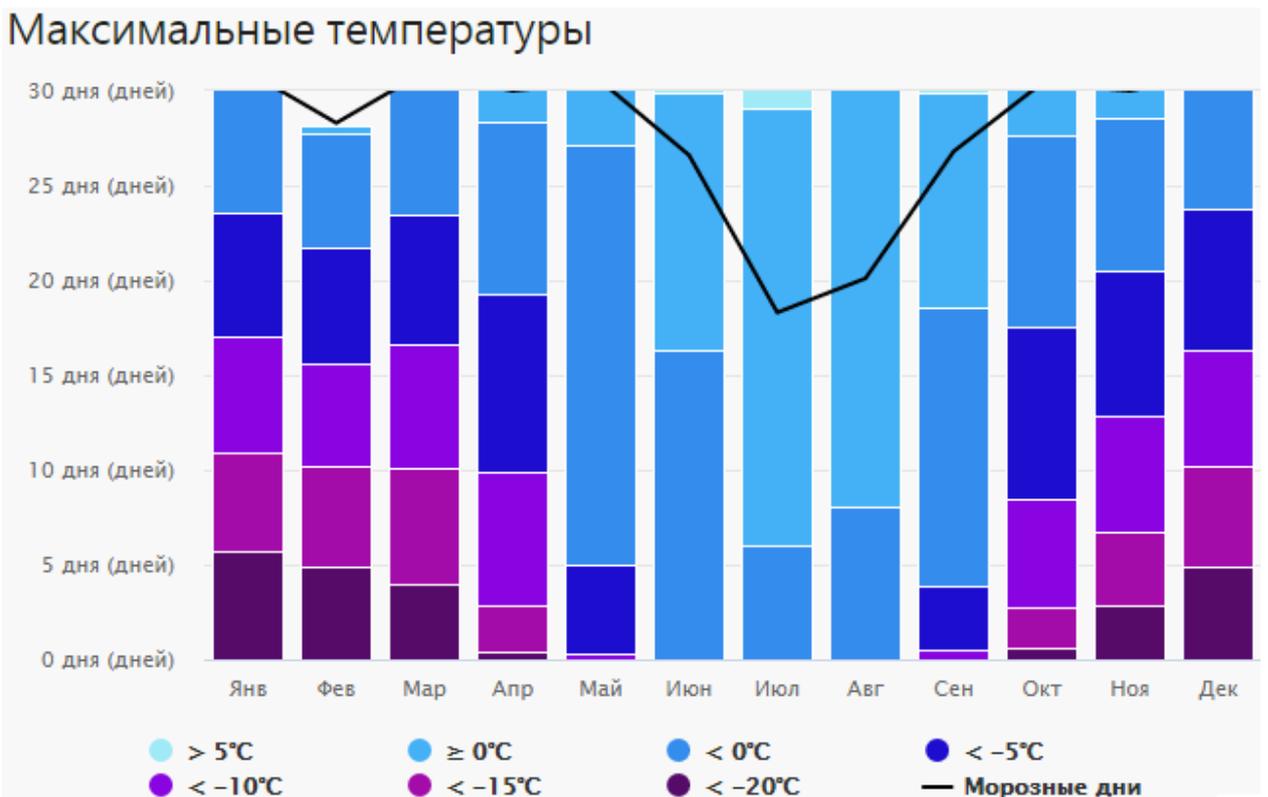


Рисунок 3.6 Максимальные температуры в Нью-Олесунн

Станция номер 3, Саммит (Верхний лагерь), Гренландия, круглогодичная исследовательская станция в центре ледникового щита, самого большого в мире острова Гренландии

Международное обозначение станции 04416

Широта 72°34'49" с. ш. Долгота 38°27'24" з. д (Координаты плавающие, меняются по мере движения льда)

Высота над уровнем моря: 3216м

Круглогодичная исследовательская станция в центре ледникового щита Гренландии (и в центре самого острова). Координаты меняются по мере движения льда (нынешние даны на июль 2009 г.), высота над уровнем моря — 3216 м. Население обычно составляет 5 человек зимой и до 55 летом.

Станция поддерживается Полярной службой компании CH2M HILL, совместно с американским Национальным научным фондом. Для посещения станции необходимо разрешение датского полярного центра и правительства

Гренландии. Верхний лагерь был открыт в 1989 году для бурения ледникового щита, и 1 июля 1993 года было достигнуто ложе щита. С начала XXI века станция перешла на круглогодичный режим с населением зимой в 4—5 человек. Лагерь расположен на территории Северо-Восточного Гренландского национального парка примерно в 360 км к западу от восточного побережья, 500 км к востоку от западного (Сааттут, Уумманак) и 200 км к северо-северо-востоку от места старого лагеря Eismitte. Ближайший город — Иллоктортоормиут в 460 км. Лагерь состоит из Большого здания (главный корпус), Теплицы (исследовательский корпус), совмещенной с Berthing Module, где расположены гараж и генератор, Швейцарской башни (Swiss Tower), Палаточного городка (в летний период) и складов. Климат арктический с летними температурами от 0 °С до -40 °С и зимними от -25 °С до -60 °С. Осадков в среднем за год выпадает в районе 200—300 мм. Не являясь горной вершиной в прямом смысле этого слова, Верхний лагерь занимает 8-ю строчку в списке самых высоких гор Гренландии. В Гренландии, поверхность которой, как и Антарктида, покрыта ледяным щитом, формируется континентальный климат. Климат Гренландии суровый. Здесь в течение всего года отрицательные температуры: летом — от — 10 до -15°С; зимой — от -45 до -50°С. Понижения температуры доходили до -65°С. В Гренландии самая низкая для Северного полушария средняя годовая температура воздуха —32,2°С. На южном и восточном побережьях острова, где чаще проходят циклоны, годовое количество осадков составляет 800 — 1000 мм, но на севере оно уменьшается до 100 мм. На всей прибрежной полосе острова часто дуют ветры. Часты метели, особенно зимой. Снег идет весьма часто в восточных областях ,на западе — чуть ли не вдвое реже. Чем дальше к северу, тем более характерными становятся нечастые, легкие снегопады. В западных прибрежных районах летом часты туманные дни 113–128 в год. Омываемая теплым Западногренландским течением юго-западная Гренландия

имеет наиболее теплый и мягкий климат. Средняя температура января от минус 1 до минус 4°, средняя температура

июля в Ивигтуе около 11°. Но в целом и здесь лето холодное, сырое, а зима ветреная и снежная. Лишь на крайнем юге в летние месяцы, в местах, защищенных от ветра, или на южных склонах температура может подняться до +20°. Более суров климат восточного побережья, вблизи которого круглый год движутся льды, приносимые из Центральной Арктики холодным Восточно-гренландским течением. Наиболее неприветлива и безотраднa природа постоянно блокированного льдами северного побережья. В долгую полярную ночь здесь стоят морозы до -52°. Лишь 2–3 месяца в году благодаря непрерывному солнечному сиянию держатся невысокие положительные температуры. Осадков мало (менее 200 мм), поэтому ледяной щит на севере далеко отступает от побережья. Соответственно климатическим различиям в различных районах острова и растительный покров Гренландии неодинаков. В целом, как считают, он сравнительно скуден, однако обнаружено свыше 1000 видов растений, в том числе около 450 высших. Флора Гренландии богаче любого другого района Арктики.

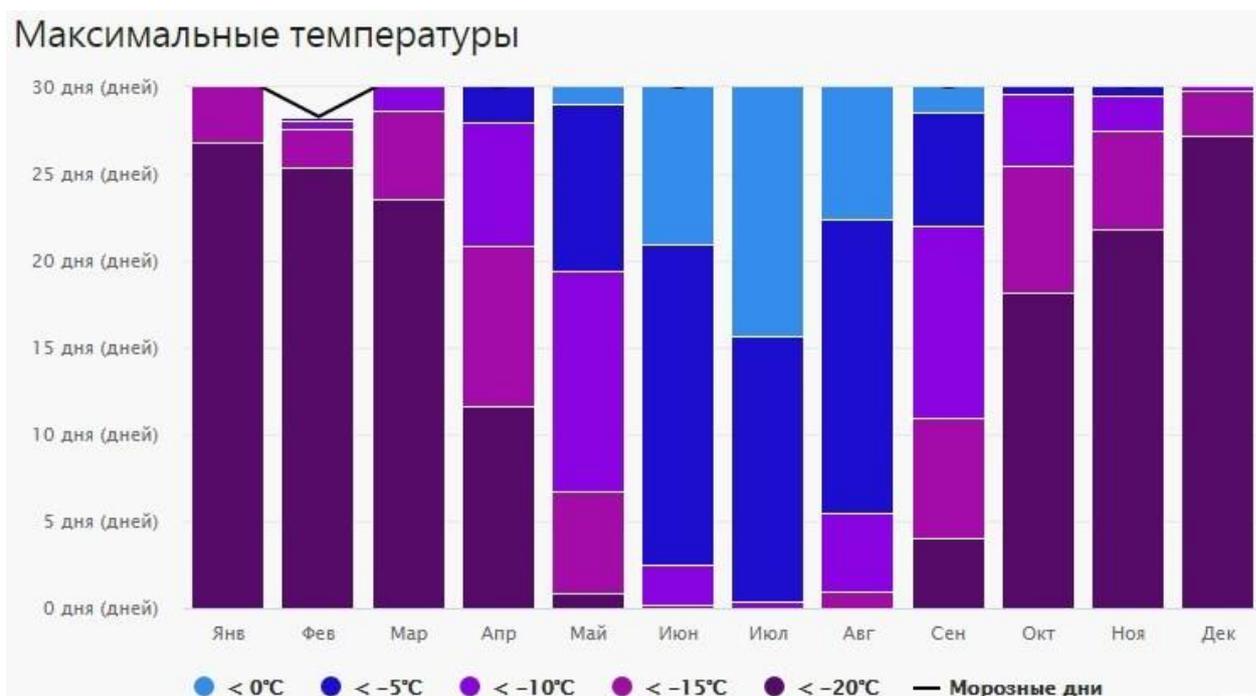
Растительность сосредоточена лишь в зоне, свободной от вечных льдов, — в фьордах, на морском побережье и на возвышенностях. Разнообразнее всего растительный мир южной и юго-западной Гренландии, отличающейся более мягким, субарктическим климатом (средняя температура июля +10°). Там в наиболее солнечных и защищенных от ветра долинах сохранилось несколько березовых перелесков.



Рисунок 3.7 Саммит на щите Гренландии



Рисунок 3.8 Средняя температура и осадки на станции Саммит



### Рисунок 3.9 Максимальные температуры на станции Саммит



Рисунки 3.10 Станция Саммит

### 3.3 Анализ особенностей температурного режима тропосферы полярных регионов Северного полушария.

Ниже приведены данные зондирования с сайта Университета Вайоминга, где указаны высота, давление, температура, а так же точка росы, измеряемая зондом.

Возьмём январь месяц как наиболее наглядный для исследования в зимний период, а так же июль месяц как наиболее наглядный в летний сезон.

Для дальнейшего анализа температурного режима ниже приведем несколько теоретических фактов о температурных режимах атмосферы.

«Нормальное» состояние атмосферы считается тогда, когда температура с высотой понижается, «не нормальное» состояние когда температура с высотой увеличивается.

Выделяют 2 вида инверсии по месту проявления:

приземная (та которая начинается от поверхности земли)

инверсия на высоте (N-ый слой на высоте)

Можно выделить 4 типа инверсии, по видам ее возникновения:

приземного радиационного выхолаживания

инверсия подтекания

инверсия адвективного переноса

инверсия оседания

Приземную инверсию называют инверсией радиационного выхолаживания или ночной инверсией. Поверхность земли, при ослаблении поступления тепла от солнца быстро охлаждается.. Охлажденная поверхность охлаждает и прилегающий к ней слой воздуха. Так как воздух – плохо переносит тепло, то выше определенной высоты это охлаждение уже не чувствуется.

Толщина слоя интенсивность его переохлаждения зависят от:

длительности охлаждения, чем длиннее ночь, тем больше выхолаживается поверхность и примыкающий к ней слой воздуха. Осенью и зимой приземные инверсии толще и имеют более выраженный градиент.

скорости охлаждения, например если есть облачность, то часть инфракрасного излучения, с которым уходит тепло – отражается обратно на землю, и интенсивность охлаждения – заметно снижается (облачные ночи – теплые).

теплоемкости подстилающей поверхности поверхности имеющие большую теплоемкость и накопившие тепло за день – дольше охлаждаются и меньше охлаждают воздух (например теплые водоемы).

наличия ветра у земли, ветер перемешивает воздух и он интенсивнее охлаждается, слой (толщина) инверсии – заметно больше.

Инверсия подтекания. Образуется тогда, когда холодный воздух стекает со склонов в долину, вытесняя более теплый воздух вверх. Воздух может стекать как с охлажденных склонов ночью, так и днем, например с ледников.

Инверсия адвективного переноса возникает при горизонтальном переносе воздуха. Например, теплых воздушных масс на холодные поверхности. Или

просто разных воздушных масс. Ярким примером – являются атмосферные фронты, на границе фронта будет наблюдаться инверсия.

Инверсия оседания, возникает если внешние силы заставляют какой-то слой воздуха опускаться вниз. При опускании воздух будет сжиматься (так как атмосферное давление увеличивается) и адиабатически нагреваться, и может оказаться что нижележащие слои – имеют температуры ниже – возникнет инверсия. Этот процесс может происходить в разных условиях и масштабах, такая инверсия возникает например при оседании воздуха в антициклонах, при опускании воздуха в горно-долинной циркуляции, между облаком с осадками и окружающим воздухом рядом, или, например при фёне. Для ее возникновения нужно постоянное внешнее воздействие которое осуществляет перенос и опускание воздуха.

В летний период мы можем отметить низкие температуры у земной поверхности, наличие инверсии в переходном слое из тропосферы в стратосферу.

Данные зонда за 12 января (где Pres (hPa) давление, hight (m) высота полёта зонда, temp (°C) температура воздуха, DWPT °C точка росы) на станции Оймякон

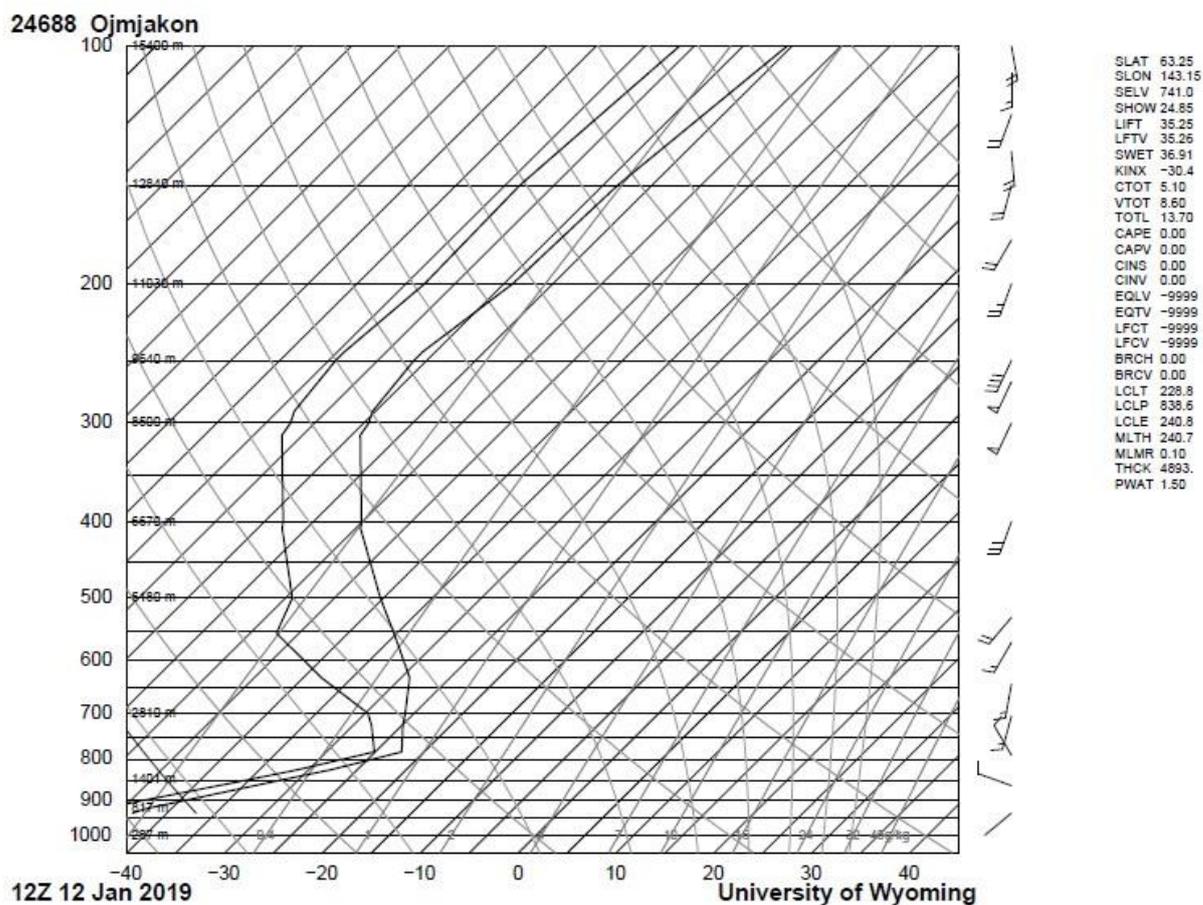
24688 Oymyakon Observations at 12Z Jan 2019

PRES	HGHT	TEMP	DWPT
hPa	m	C	C
1000.0	287		
936.0	741	-43.5	-47.3
925.0	817	-42.7	-47.3
864.0	1288	-33.8	-37.5
850.0	1401	-31.7	-35.2
840.0	1485	-30.1	-33.6

825.0 1614 -27.7 -31.1  
791.0 1919 -23.4 -26.3  
783.0 1993 -22.3 -25.1  
771.0 2106 -22.8 -25.7  
748.0 2327 -23.8 -26.9  
725.0 2556 -24.9 -28.1  
705.0 2758 -25.7 -29.4  
700.0 2810 -25.9 -29.7  
683.0 2987 -26.7 -31.7  
642.0 3432 -28.6 -36.7  
631.0 3556 -29.1 -38.1  
569.0 4285 -34.0 -45.4  
554.0 4474 -35.3 -47.3  
550.0 4524 -35.6 -47.4  
529.0 4792 -37.5 -48.2  
512.0 5017 -39.1 -48.8  
500.0 5180 -40.3 -49.3  
408.0 6540 -49.5 -57.5  
400.0 6670 -50.1 -58.1  
311.0 8275 -59.1 -67.1  
300.0 8500 -59.5 -67.5  
290.0 8713 -60.3 -68.3  
266.0 9252 -60.9 -68.9  
250.0 9640 -61.3 -69.3  
244.0 9791 -61.3 -69.3  
200.0 11030 -59.1 -68.1

189.0 11386 -59.0 -68.2  
 176.0 11834 -58.8 -68.3  
 150.0 12840 -58.5 -68.5  
 136.0 13459 -57.8 -68.0  
 122.0 14145 -57.0 -67.5  
 108.0 14914 -56.1 -66.9

Построим диаграмму :



На полученной аэрологической диаграмме мы видим:

Наличие большого инверсионного слоя на высотах: от 740 метров до 2900метров

слой тропопаузы от 5000метров до 8500метров, далее снова наблюдается инверсионный слой, который переходит в стратосферу.

Данные зонда за 12 января (где Pres (hPa) давление, hight (m) высота полёта зонда, temp (°C) температура воздуха, DWPT °C точка росы) на станции Саммит (Гренландия).

04417 Geosummit Observations at 12Z 12 Jan 2019

PRES HGHT TEMP DWPT

hPa m C C

657.0 3255 -56.5 -59.9

656.0 3265 -44.1 -44.6

654.0 3285 -39.5 -40.5

647.0 3357 -36.5 -38.2

644.0 3389 -36.3 -42.3

642.0 3410 -35.9 -40.1

640.0 3431 -35.7 -43.7

625.0 3592 -36.5 -45.5

603.0 3834 -38.1 -46.4

595.0 3924 -38.7 -46.7

590.0 3980 -39.1 -43.4

586.0 4026 -38.7 -58.7

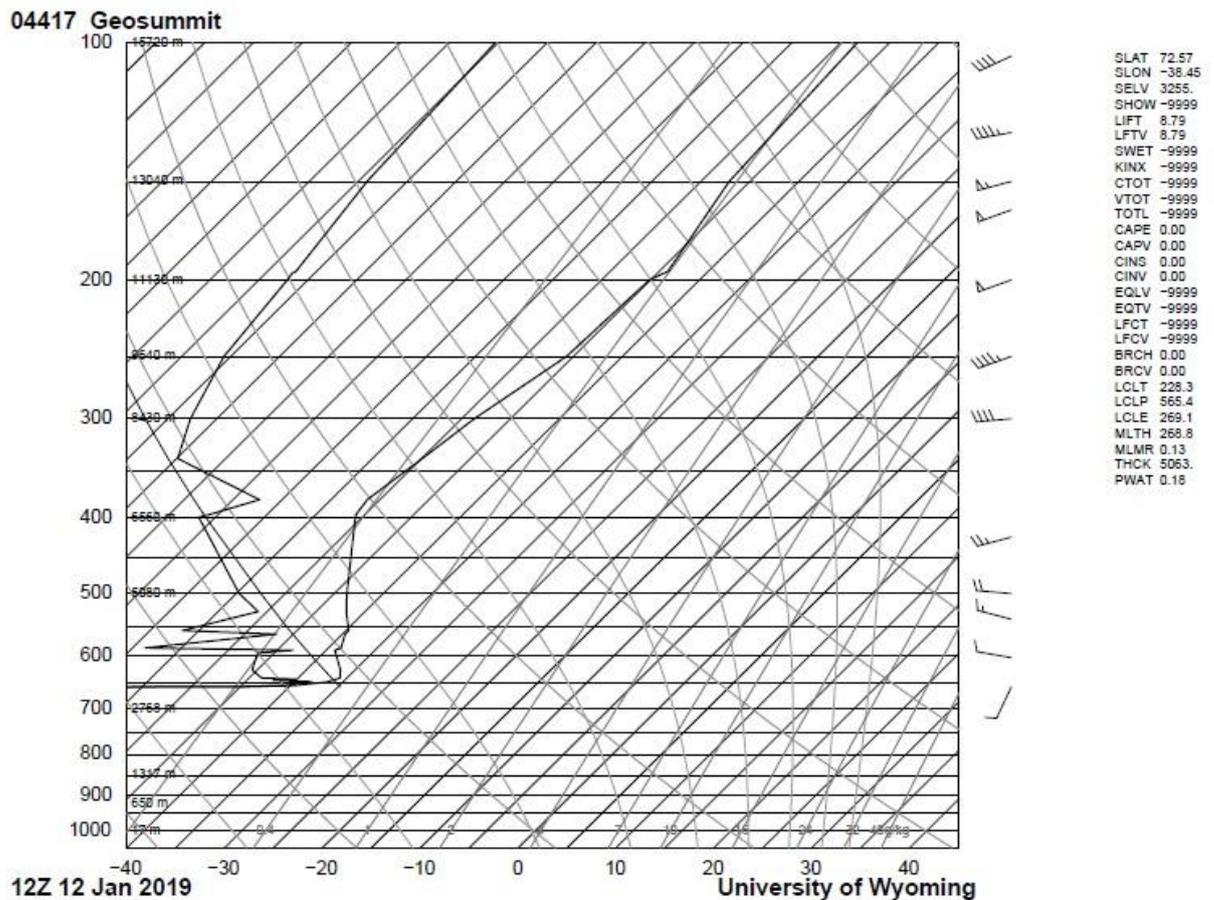
563.0 4294 -39.7 -46.7

557.0 4365 -39.7 -56.7

539.0 4584 -41.0 -53.3

527.0 4733 -41.9 -50.9

500.0	5080	-43.7	-54.7
424.0	6174	-48.9	-63.6
400.0	6560	-50.7	-66.7
397.0	6609	-50.9	-65.9
380.0	6892	-51.3	-62.3
337.0	7671	-49.9	-74.9
300.0	8430	-48.7	-77.7
298.0	8474	-48.6	-77.8
250.0	9640	-45.7	-80.7
200.0	11130	-45.1	-82.1
196.0	11265	-44.3	-82.3
195.0	11299	-44.1	-82.1
163.0	12488	-46.1	-83.5
154.0	12865	-46.8	-83.9
150.0	13040	-47.1	-84.1
130.0	13986	-47.5	-84.5



На полученной аэрологической диаграмме мы видим:

1. Инверсионный слой в приземной слое тропосферы от 3250 метров до до 4350 метров,
2. Возникновение тропопаузы в слое от 4350 метров до 6200метров,
3. Далее мы наблюдаем инверсионный слой, переходящий в стратосферу.

Данные зонда за 12 января (где Pres (hPa) давление, hight (m) высота полёта зонда, temp (°C) температура воздуха, DWPT °C точка росы) на станции Нью-Олесунн

01004 ENAS Ny-Alesund Ii Observations at 12Z 12 Jan 2019

PRES HGHT TEMP DWPT

hPa m C C

999.0 8 -12.3 -19.3

953.0 372 -13.5 -21.5

925.0 601 -15.7 -21.7

918.0 658 -16.3 -21.3

850.0 1232 -20.7 -27.7

841.0 1311 -21.3 -27.3

819.0 1505 -22.6 -29.2

807.0 1614 -23.3 -30.3

805.0 1632 -23.3 -30.6

792.0 1751 -23.5 -32.5

782.0 1844 -22.3 -37.3

780.0 1863 -22.4 -37.3

767.0 1985 -23.0 -37.5

741.0 2236 -24.3 -37.8

703.0 2620 -26.3 -38.3

700.0 2651 -26.1 -34.1

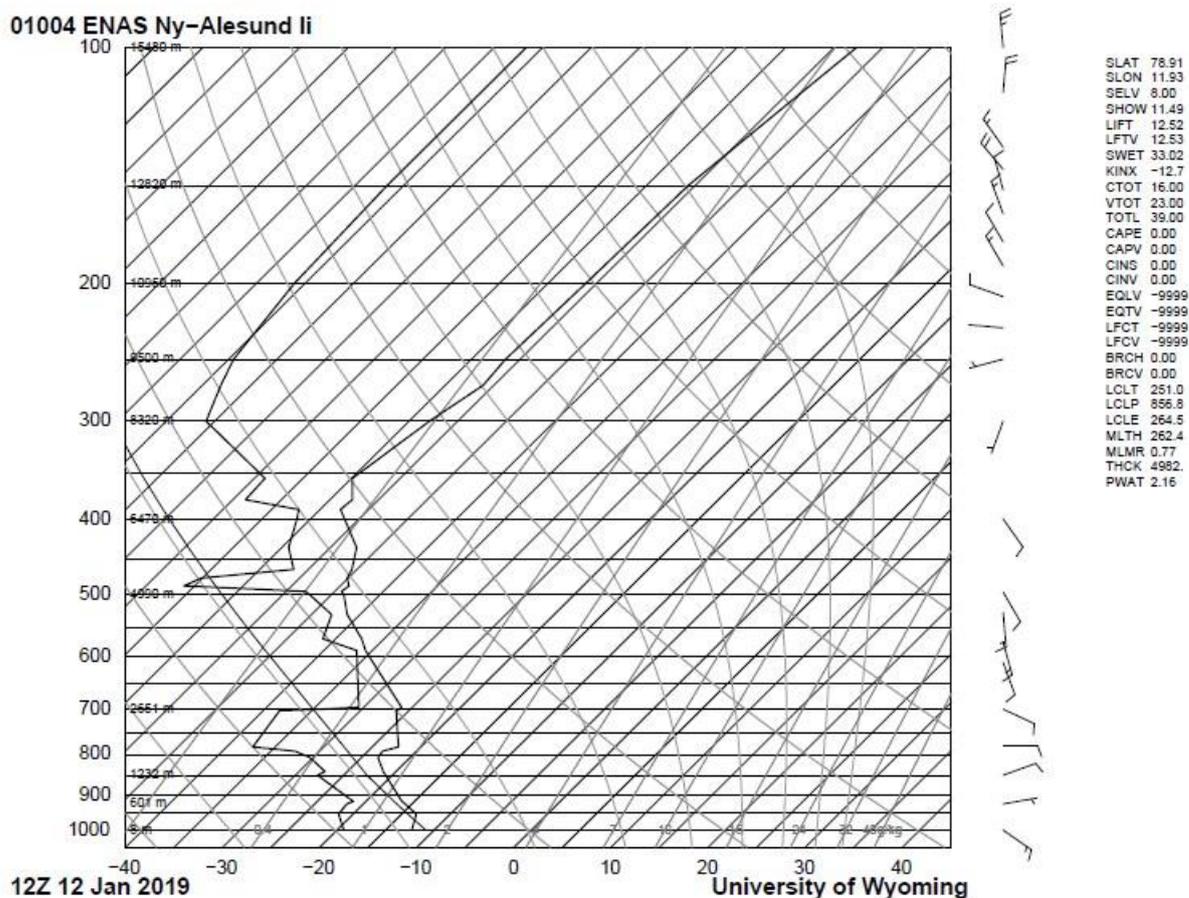
696.0 2692 -26.1 -30.5

610.0 3626 -33.7 -35.3

589.0 3874 -35.7 -36.6

587.0 3897 -35.9 -37.1  
574.0 4052 -36.9 -40.1  
569.0 4112 -37.3 -41.3  
553.0 4307 -38.9 -41.9  
530.0 4597 -41.3 -42.9  
527.0 4636 -41.5 -43.3  
500.0 4990 -43.7 -47.2  
496.0 5044 -44.2 -47.8  
495.0 5058 -44.3 -48.0  
487.0 5167 -44.1 -61.1  
476.0 5320 -45.1 -60.1  
464.0 5491 -45.5 -51.5  
435.0 5920 -47.3 -54.3  
400.0 6470 -51.5 -56.4  
389.0 6650 -52.9 -57.2  
378.0 6836 -52.7 -63.7  
355.0 7239 -54.9 -63.9  
300.0 8320 -52.9 -75.9  
270.0 9001 -51.1 -78.1  
250.0 9500 -51.5 -79.5  
228.0 10099 -51.3 -80.2  
218.0 10390 -51.2 -80.5  
208.0 10695 -51.2 -80.8  
200.0 10950 -51.1 -81.1  
190.0 11283 -51.0 -81.2  
177.0 11744 -50.9 -81.3

173.0 11893 -50.9 -81.4  
169.0 12045 -50.9 -81.5  
163.0 12280 -50.8 -81.5  
158.0 12482 -50.8 -81.6  
152.0 12734 -50.7 -81.7  
150.0 12820 -50.7 -81.7  
143.0 13134 -50.4 -81.7  
138.0 13367 -50.1 -81.7  
134.0 13560 -49.9 -81.7  
130.0 13759 -49.6 -81.7  
114.0 14620 -48.7 -81.7  
112.0 14737 -48.5 -81.7  
100.0 15480 -47.7 -81.7



На полученной диаграмме мы видим:

1. В приземном слое наблюдается стабильное понижение температуры с высотой (изотермия),
2. Далее с 800 до 700 слой изотермии, где температурные значения примерно одинаковые
3. С высоты 2551 метров до 5000 метров наблюдается
4. Далее мы наблюдаем слой тропопаузы от 6400 метров до 7200 метров
5. Выше 9000м начинается слой инверсии, который уходит в стратосферу.

Из этого мы можем сделать вывод о том, что одной из главных особенностей температурного режима тропосферы является наличие инверсии температуры в приземном слое, в частности в зимний месяц.

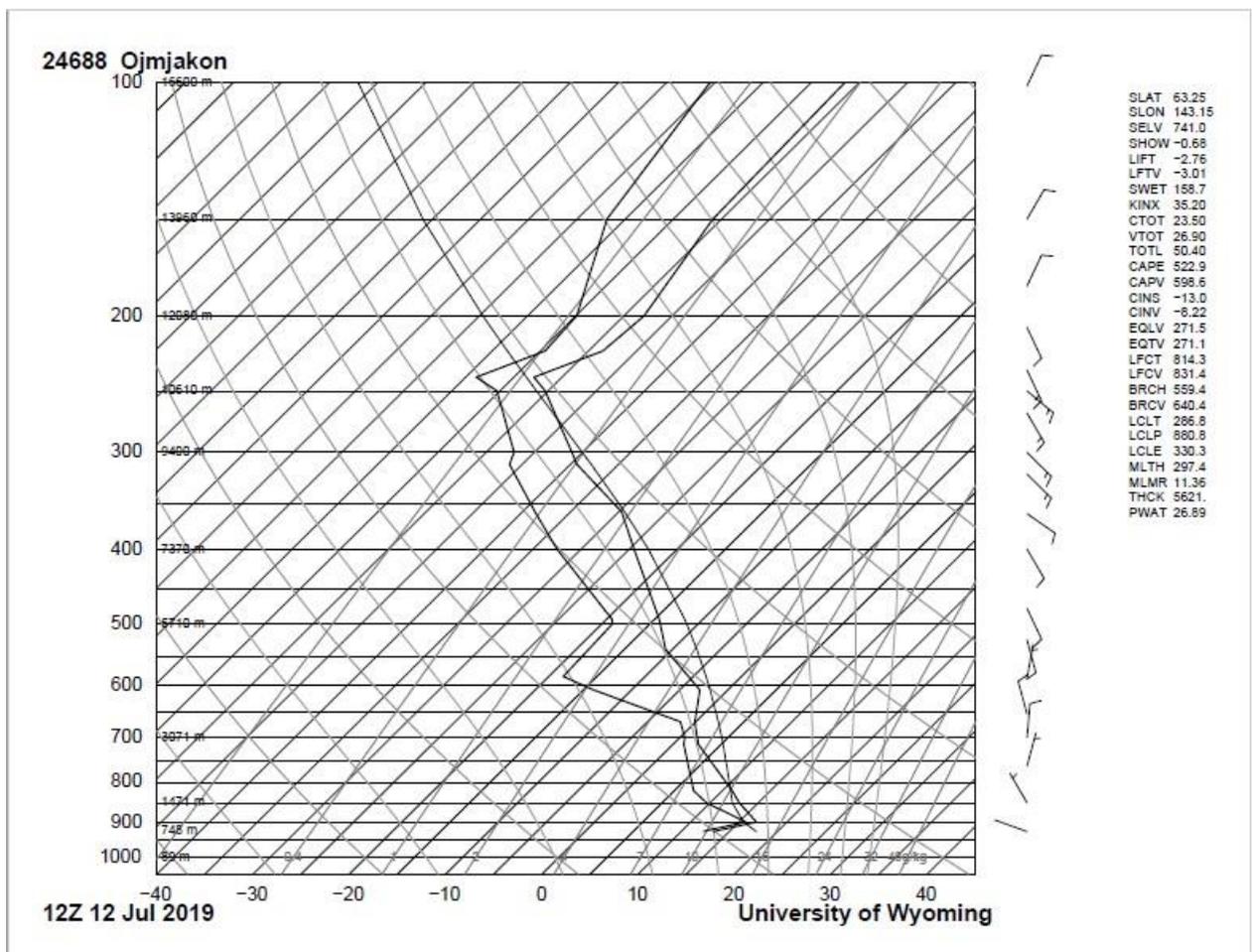
Так же на каждой диаграмме мы наблюдаем слой тропопаузы. Это значит, что мы увидели на практике то, что описано в теории.

Далее рассмотрим летний период. Данные зондов со станций за июль:

24688 Ojnjakon Observations at 12Z 12 Jul 2019

PRES	HGHT	TEMP	DWPT
hPa	m	C	C
1000.0	89		
926.0	741	13.4	12.3
925.0	748	13.4	12.3
900.0	982	16.8	15.7
850.0	1471	13.0	9.6
820.0	1772	11.0	7.0
762.0	2376	6.5	3.9
714.0	2911	2.6	1.
700.0	3071	1.8	0.5
690.0	3187	1.2	-0.1
672.0	3399	0.1	-1.3
668.0	3447	-0.1	-1.6
653.0	3628	-0.8	-4.6
635.0	3851	-1.6	-8.2
619.0	4054	-2.4	-11.6
608.0	4197	-2.9	-13.9
587.0	4474	-5.2	-17.9
584.0	4514	-5.5	-18.5
539.0	5136	-10.7	-18.7
524.0	5352	-11.9	-18.8
500.0	5710	-13.9	-18.9

493.0 5817 -14.5 -19.4  
477.0 6062 -16.1 -21.5  
451.0 6478 -18.8 -25.0  
400.0 7370 -24.5 -32.5  
360.0 8130 -29.4 -38.4  
358.0 8170 -29.7 -38.7  
320.0 8955 -37.4 -44.8  
311.0 9154 -39.3 -46.3  
300.0 9400 -41.1 -47.1  
267.0 10173 -47.0 -52.3  
250.0 10610 -50.3 -55.3  
240.0 10877 -52.9 -58.9  
235.0 11015 -51.7 -57.7  
222.0 11388 -48.5 -54.5  
207.0 11852 -48.1 -54.8  
200.0 12080 -47.9 -54.9  
183.0 12661 -48.8 -57.1  
150.0 13960 -50.9 -61.9



На данной диаграмме мы наблюдаем:

1. В приземном слое до высоты 10610м мы наблюдаем стабильное понижение температуры с высотой
2. В переходном слое тропосфера – стратосфера линия температуры поворачивает в сторону увеличения её значений с высотой, что значит слой инверсии

04417 Geosummit Observations at 12Z 12 Jul 2019

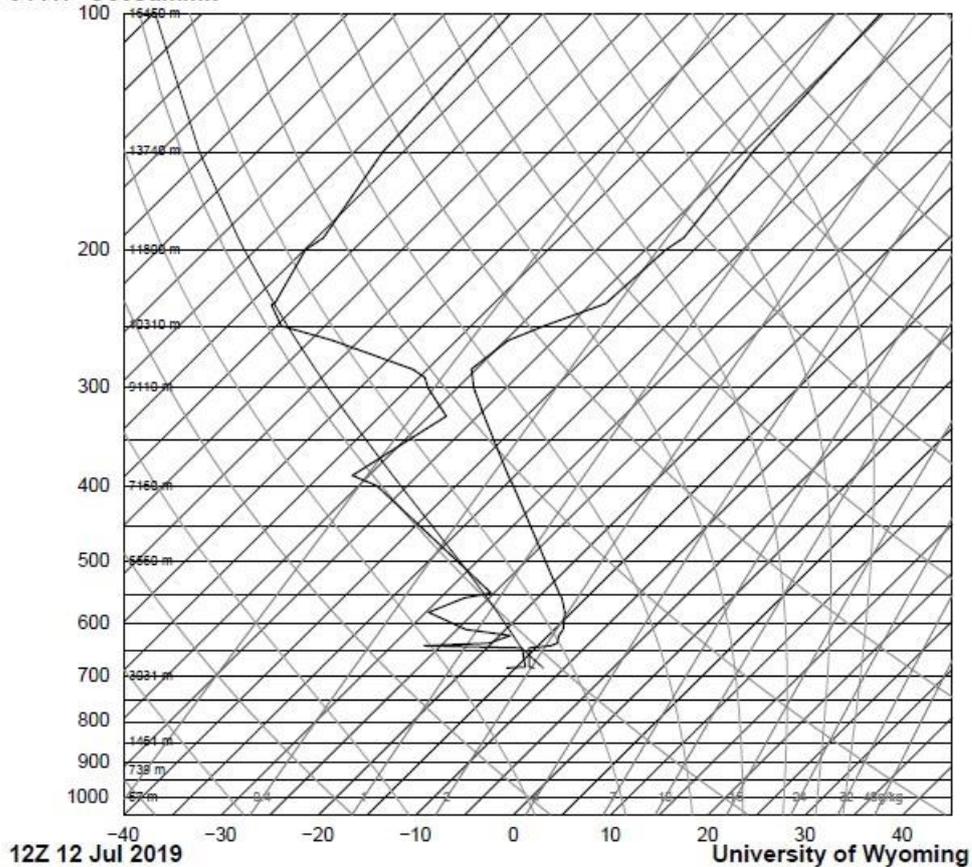
PRES HGHT TEMP DWPT

hPa m C C

683.0	3255	-13.1	-15.9
681.0	3277	-13.7	-14.1
644.0	3693	-15.7	-16.4
640.0	3740	-13.7	-26.7
635.0	3798	-13.3	-20.3
634.0	3810	-13.3	-20.2
621.0	3965	-13.9	-18.9
616.0	4026	-14.0	-21.2
610.0	4099	-14.1	-24.1
581.0	4461	-15.7	-29.5
580.0	4474	-15.7	-29.7
556.0	4786	-17.5	-27.5
548.0	4893	-18.3	-25.3
537.0	5040	-19.3	-26.8
500.0	5560	-22.9	-31.9
400.0	7160	-34.1	-48.1
388.0	7372	-35.7	-51.7
326.0	8559	-44.3	-48.2
300.0	9110	-48.3	-53.0
294.0	9243	-49.1	-53.9
291.0	9311	-49.5	-54.4
284.0	9471	-50.5	-56.5

265.0 9926 -49.8 -65.7  
261.0 10025 -49.7 -67.7  
250.0 10310 -47.5 -74.5  
240.0 10581 -45.0 -76.6  
235.0 10720 -43.7 -77.7  
234.0 10749 -43.5 -77.5  
225.0 11011 -43.4 -78.1  
200.0 11800 -42.9 -79.9  
193.0 12041 -42.3 -79.3  
184.0 12363 -42.6 -79.8  
150.0 13740 -44.1 -82.1  
132.0 14594 -44.5 -82.5  
129.0 14748 -44.5 -82.5

04417 Geosummit



Анализ аэрологической диаграммы показывает:

1. По данным зонда с высоты 3225 метров до высоты 10310 метров стабильное понижение температуры с высотой
2. Далее мы видим линию тропопаузы с высоты 10039 метров которая переходит в
3. Слой инверсии, переходящий в стратосферу

01004 ENAS Ny-Alesund Ii Observations at 12Z 12 Jul 2019

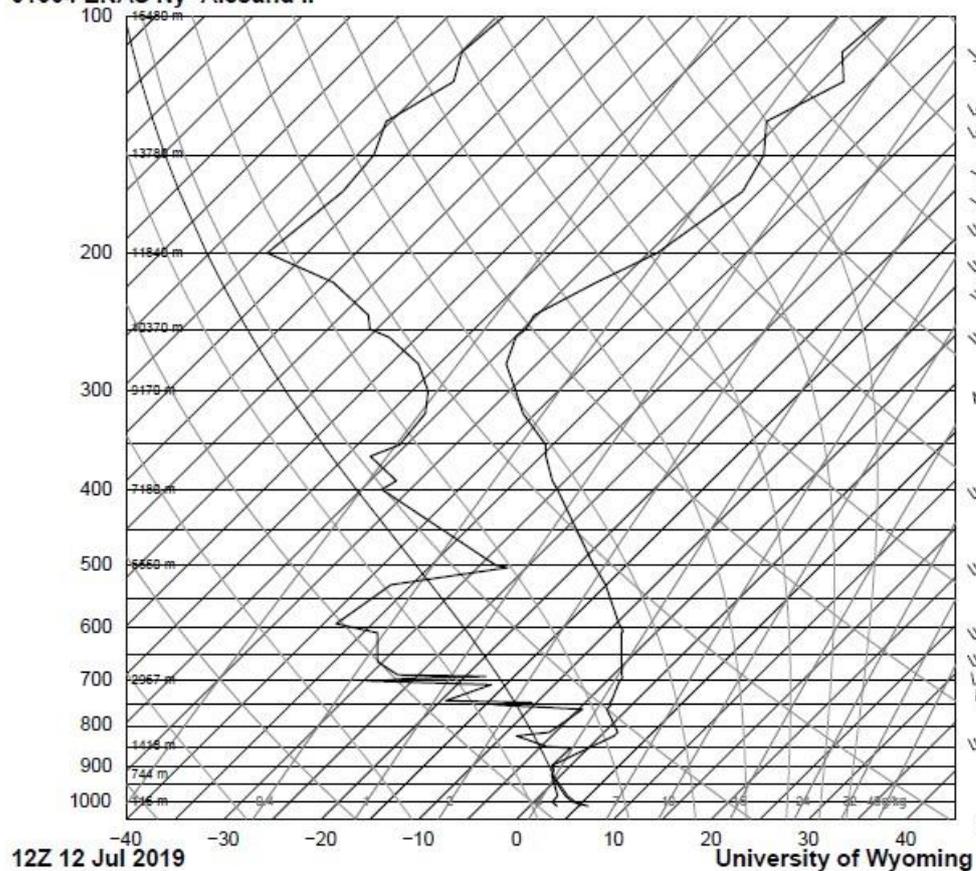
PRES	HGHT	TEMP	DWPT
hPa	m	C	C
1012.0	8	6.0	2.8

1000.0	116	4.0	1.9
982.0	263	2.6	1.8
925.0	744	-0.9	-0.9
910.0	874	-1.3	-1.3
899.0	971	-1.9	-1.9
888.0	1069	-1.4	-1.9
854.0	1380	0.0	-1.8
850.0	1418	0.2	-4.4
824.0	1668	1.4	-8.6
815.0	1756	1.4	-5.6
810.0	1805	1.1	-5.5
774.0	2169	-1.3	-4.8
762.0	2295	-2.1	-4.6
752.0	2400	-2.1	-14.1
747.0	2453	-2.5	-10.5
743.0	2495	-2.5	-19.5
742.0	2506	-2.5	-19.4
720.0	2744	-3.2	-17.5
709.0	2866	-3.5	-16.5
701.0	2956	-3.7	-29.7
700.0	2967	-3.7	-27.7
696.0	3012	-3.7	-25.7
693.0	3046	-3.9	-19.9
692.0	3057	-3.9	-17.9
689.0	3092	-4.1	-27.1
663.0	3393	-5.5	-30.5

659.0	3440	-5.7	-30.7
639.0	3679	-6.8	-31.8
609.0	4053	-8.5	-33.5
606.0	4091	-8.5	-34.5
604.0	4117	-8.7	-35.1
593.0	4258	-9.7	-38.7
529.0	5128	-15.1	-37.1
503.0	5505	-17.9	-26.9
500.0	5550	-18.3	-28.3
400.0	7180	-29.9	-47.9
390.0	7360	-31.3	-47.3
363.0	7865	-34.5	-52.5
351.0	8099	-35.7	-50.7
320.0	8735	-41.3	-51.3
300.0	9170	-44.3	-53.3
288.0	9441	-46.2	-55.2
277.0	9699	-48.1	-57.1
256.0	10215	-49.9	-62.9
250.0	10370	-49.7	-65.7
240.0	10636	-50.3	-67.3
236.0	10747	-49.8	-68.5
218.0	11267	-47.3	-74.3
217.0	11298	-47.1	-74.8
204.0	11708	-44.8	-81.8
200.0	11840	-44.1	-84.1
195.0	12011	-43.8	-83.9

185.0 12365 -43.1 -83.5  
 167.0 13055 -41.7 -82.7  
 164.0 13178 -42.0 -82.8  
 160.0 13344 -42.3 -82.9  
 145.0 14006 -44.4 -84.1  
 140.0 14239 -45.5 -84.8  
 136.0 14432 -46.5 -85.5  
 135.0 14482 -46.3 -85.3  
 131.0 14682 -45.3 -84.6  
 126.0 14942 -44.0 -83.7

01004 ENAS Ny-Alesund li



SLAT 78.91  
 SLON 11.93  
 SELV 8.00  
 SHOW 13.58  
 LIFT 18.21  
 LFTV 18.28  
 SWET 73.82  
 KINX -9.90  
 CTOT 13.90  
 VTOT 18.50  
 TOTL 32.40  
 CAPE 0.50  
 CAPV 0.57  
 CINS -0.07  
 CINV -0.04  
 EQLV 919.2  
 EQTV 919.2  
 LFCT 945.0  
 LFCV 945.5  
 BRCH 0.02  
 BRCV 0.02  
 LCLT 274.4  
 LCLP 963.1  
 LCLE 289.6  
 MLTH 277.4  
 MLMR 4.39  
 THCK 5434.  
 PWAT 11.97

На данном рисунке мы видим:

1. Небольшая инверсия температуры в слое от 744 метров до 1805 метров,
2. Изотермия температуры до уровня 10370 метров
3. С 10370 метров повышение температуры с высотой, то есть слой инверсии переходящий из тропосферы в стратосферу

Результаты проделанной работы по построению диаграмм и их анализу выявили особенности температурного режима тропосферы в полярных регионах. Для того, чтобы исследование было полным, мы изучили два контрастных друг другу сезона. На аэрологических диаграммах мы видим стабильное наличие инверсии, тропопаузы, а так же изотермии температур.

Инверсию в приземных слоях мы наблюдаем на каждой станции в зимний период ( Оймякон, Саммит, Нью-Олесунн). Так мы увидели на практике то, что описали в теоретической части.

Глава 4. Проблема глобального потепления полярных регионов Северного полушария.

#### 4.1 Что такое глобальное потепление?



Рисунок 4.1 Фото белого медведя на льдине в Арктике, автор не указан

Глобальное потепление - плавное, постепенное изменение климата Земли, связанное с повышением средней температуры Земли и Мирового океана, основной причиной является последствия жизнедеятельности человека и загрязнения воздушной оболочки Земли, то есть атмосферы, увеличивается концентрация парниковых газов таких как: углекислый газ, метан, водяной пар и других. Эти газы становятся так называемой плёнкой или парником, свободно пропускают солнечную радиацию к поверхности Земли, а так же задерживают тепло, которое покидает атмосферу нашей планеты. Эта тема уже несколько лет волнует десятки ученых по всему миру. Глобальное потепление несёт за собой ряд изменений, которые отражаются в изменении климата, в повышении уровня моря, в таянии ледников, повышении засухи, что несёт за собой много негативных последствий для человека, а так же для окружающего мира в целом. В последние годы полярные регионы Северного и Южного полушария, в частности такие как Арктический и Антарктический подверглись наиболее яркому проявлению признаков глобального потепления. В настоящее время составляются прогнозы и детально наблюдаются все физические процессы, происходящие в этих регионах, так как состояние ледникового покрова, а так же «щитов» вечной мерзлоты постоянно меняется, снижается отражательная способность ледяных покрытий из-за загрязнения и повышения температуры тропосферы в приземном слое. Что в свою очередь так же вызвано изменением количества поступающей прямой радиации и отраженной.

#### 4.2 Климатические изменения в полярных регионах, тенденции и причины.

Логичнее начать с причин, среди которых можно выделить несколько основных:

##### 1) Изменение угла наклона оси вращения Земли по отношению к Солнцу

Все процессы формирования, частичного изменения или перемены климата напрямую зависят главным образом от солнечной радиации, поступающей на Землю, именно поэтому даже самые малые её изменения оказывают влияние

на климат. Изменения климата во многом связаны с изменением угла наклона оси вращения Земли, по отношению к Солнцу. Подобные орбитальные перемены положения и движения планеты вызывают трансформацию радиационного баланса Земли, а значит и её климата



Рисунок 4.2 Наклон Земной оси к Солнцу

2) Мировой океан. Мировой океан – огромный инерционный аккумулятор солнечной энергии. Он во многом определяет направление и скорость движения тёплых океанических, а также воздушных масс на Земле, которые в сильной степени влияют на климат планеты. В настоящий момент времени мало изучена природа циркуляции тепла в водной толще океана. Так известно, что средняя температура вод океана составляет  $3,5^{\circ}\text{C}$ , а поверхности суши  $15^{\circ}\text{C}$ , поэтому интенсивность теплообмена между толщей океана и приземным слоем атмосферы может приводить к значительным климатическим изменениям.



Рисунок 4.3 Среднегодовая температура над поверхностью суши и мирового океана ( по данным NASA)

3) Человек. Это самая популярная на сегодняшний день гипотеза. Высокая скорость климатических изменений, происходящих в последние десятилетия, действительно может быть объяснима всё возрастающей интенсификацией антропогенной деятельности, которая оказывает заметное влияние на химический состав атмосферы нашей планеты в сторону увеличения содержания в ней парниковых газов. Действительно повышение средней температуры воздуха нижних слоёв атмосферы Земли на  $0,8^{\circ}\text{C}$  за последние 100 лет – слишком высокая скорость для естественных процессов, ранее в истории Земли такие изменения происходили в течение тысячелетий. Последние десятилетия добавили ещё большей весомости этому аргументу, так как изменения средней температуры воздуха происходили еще большими темпами —  $0,3-0,4^{\circ}\text{C}$  за последние 15 лет.

# Топ-5 стран по выбросам парниковых газов

Млрд тонн

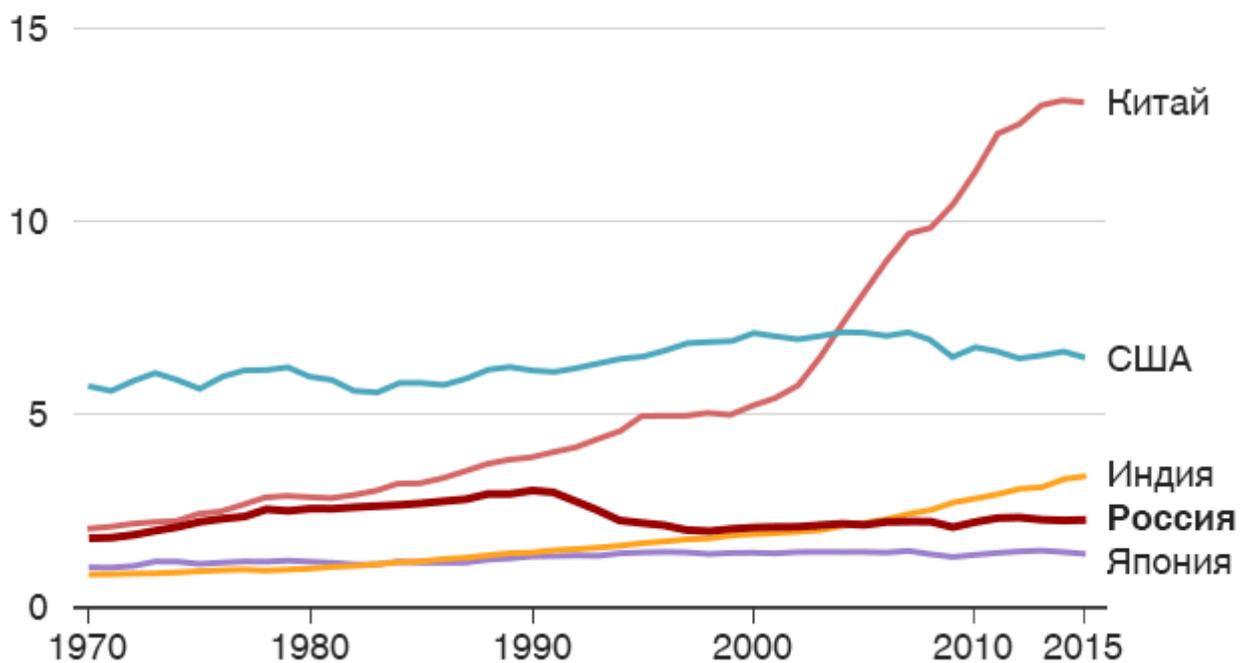


Рисунок 4.4 Топ 5 стран по выбросам



парниковых газов с 1970 года по 2015

Рисунок 4.5 Последствия выбросов парниковых газов

Парниковый эффект в атмосфере нашей планеты вызван тем, что поток энергии в инфракрасном диапазоне спектра, поднимающийся от поверхности Земли, поглощается молекулами газов атмосферы, и излучается обратно в разные стороны, в результате половина поглощенной молекулами парниковых газов энергии возвращается обратно к поверхности Земли, вызывая её разогрев. Следует отметить, что парниковый эффект – это естественное атмосферное явление. Если бы на Земле вообще не было парникового эффекта, то средняя температура на нашей планете была бы около  $-21^{\circ}\text{C}$ , а так, благодаря парниковым газам, она составляет  $+14^{\circ}\text{C}$ . Поэтому, чисто теоретически, деятельность человека, сопряжённая с выбросом парниковых газов в атмосферу Земли, должна приводить к дальнейшему разогреву планеты.

Наибольшая роль в имеющем место глобальном потеплении отводится водяному пару и углекислому газу. На их долю приходится более 95% всего парникового эффекта. Антропогенная деятельность оказывает наибольшее влияние на рост в атмосфере Земли концентрации углекислого газа, а содержание водяного пара в атмосфере растёт вслед за температурой на планете, вследствие увеличения испаряемости. Деятельность человека потенциально может являться ощутимой силой, влияющей на климат Земли.

В обоих полярных регионах Северного полушария наблюдаются очевидные признаки влияния процессов, вызванных изменением климата, на экосистемы и сообщества обитающих там наземных и пресноводных видов эти изменения прослеживаются с очень высокой степенью вероятности. Результаты последних исследований свидетельствуют о том, что с высокой степенью вероятности неблагоприятные изменения будут продолжаться, воздействуя на биологические ресурсы и экосистемы. Это приведет (со средней степенью вероятности) к глобально значимым последствиям для климата. В результате сокращения площади покрытых снегом и льдом поверхностей Земли происходит уменьшение отражающей способности подстилающей

поверхности. С высокой степенью вероятности это приведет к изменению характера обмена парниковыми газами между приполярными растительными сообществами и атмосферой. Хотя результаты недавнего моделирования (с невысокой степенью вероятности) предсказывают, что в арктической тундре в XXI веке будет происходить в небольших масштабах связывание углерода, одновременное повышение эмиссии метана в результате таяния многолетней мерзлоты и общее повышение заболоченности в регионе будут увеличивать поглощение солнечной радиации. В полярных регионах (с очень высокой степенью вероятности) многолетняя мерзлота и гидрологические процессы будут находиться под сильным воздействием изменения климата. Происходящие перемены будут оказывать возрастающее воздействие на ключевые биологические и физические системы, вместе с этим влияя на глобальный климат. В Арктическом регионе (с высокой степенью вероятности) происходящие перемены будут иметь серьезные социальные и экономические последствия. Увеличение стока пресных вод и льда в полярные моря оказывает прямое воздействие на повышение уровня океана и влияет (в сочетании с таянием морского льда) на стабильность системы циркуляции морских вод. В Арктике увеличивается сток евразийских рек, относящихся к бассейну Северного Ледовитого океана, при одновременно продолжающемся сокращении покрова ледников Арктики и Субарктики и ледового щита Гренландии. Совместное воздействие ожидаемых процессов окажет влияние на системы пресноводных водоемов, речные сети, на береговую зону Арктики (с высокой степенью вероятности) и субантарктические острова. Продолжающиеся изменения границы распространения морских льдов, потепление и повышение кислотности вод приполярных морей окажет влияние на биомассу и состав сообществ морской биосферы, так же как и на хозяйственную деятельность в Арктике. Население Арктики и местные сообщества уже начали приспосабливаться к последствиям изменения климата, но внешние и внутренние факторы будут продолжать (с высокой

степенью вероятности) оказывать усиливающееся воздействие на их способность к адаптации. Приносимые процессом изменения климата преимущества (со средней степенью вероятности) будут различными в разных регионах и крайне несходными в разных местах. Будет усиливаться процесс таяния ледников Арктики и ледяного щита Гренландии.

В течение нескольких последних десятилетий температура приповерхностного слоя атмосферы в Арктике повышалась примерно в два раза быстрее по сравнению с глобальным уровнем потепления. Среднее повышение температуры в области, расположенной севернее 60° с.ш., составило 1-2°C после минимума, отмеченного в 60-х и 70-х годах XX века. Арктический регион находится на начальном этапе перемен, порождаемых значительным поступлением в атмосферу парниковых газов антропогенного происхождения. Такое заключение основывается на довольно низком уровне проявления влияния парниковых газов в моделях, описывающих природные процессы в XX и начале XXI века. Недавнее потепление в Арктике, являющееся одним из наиболее значительных за период наблюдений составляет примерно 1°C в десятилетие, проявляясь в зимне-весенний период и оставаясь практически незаметным в осенний период. Его проявления особенно заметны на территории северной части Евразии (преимущественно в азиатской части) и северо-западной части Северной Америки. В этих регионах в течение последних нескольких десятилетий особенно активно – в сравнении с другими регионами планеты – проявляются признаки потепления. В то же время североатлантические приполярные моря показывают лишь незначительное потепление за тот же период.

Температура верхних слоев тропосферы и стратосферы в Арктике в течение последних десятилетий (начиная с 1979 г.) понижалась, вслед за повышением содержания парниковых газов и снижением концентрации озона в стратосфере. Имеются данные относительно происходившего в течение последних 100 лет увеличения количества осадков в Арктике; вместе с тем

специалисты отмечают, что уровень прироста осадков крайне мал (составляя около 1% за десятилетие), это увеличение весьма непостоянно в пространстве и недостаточно определенно подтверждается в силу слабой развитости сети наблюдения за осадками и трудностями измерений количества осадков в ветреную погоду, характерную для арктического региона. Начиная с 30-х годов XX века, вслед за изменениями температурного режима и крупномасштабной атмосферной циркуляции отмечается увеличение стока евразийских рек бассейна Северного Ледовитого океана. Сокращение территории распространения ледников на суше и морских льдов в Арктике. Сокращение периода стояния льда на реках и озерах на территории практически всей Субарктики начавшееся в 80-х годах XX века таяние многолетней мерзлоты практически во всех местах проведения наблюдений. Все эти объективно наблюдаемые процессы следуют за процессом повышения температуры поверхностной атмосферы в Арктике. Вместе с имеющимися очевидными свидетельствами разрушения многолетней мерзлоты, пока явно недостаточно данных продолжительных наблюдений и инструментальных измерений, показывающих масштабы расширения «активного» слоя (поверхности суши с низкой отражательной способностью). Эти процессы получили документальное подтверждение для Арктического региона, последний анализ данных дистанционного зондирования, спутниковой информации и данных сейсмического анализа указывает на истончение краев ледникового панциря Гренландии – в тех местах, где летнее таяние увеличилось в течение последних двадцати летю.

В то же время есть свидетельства, что в центральной части Гренландии эти процессы идут еще быстрее.

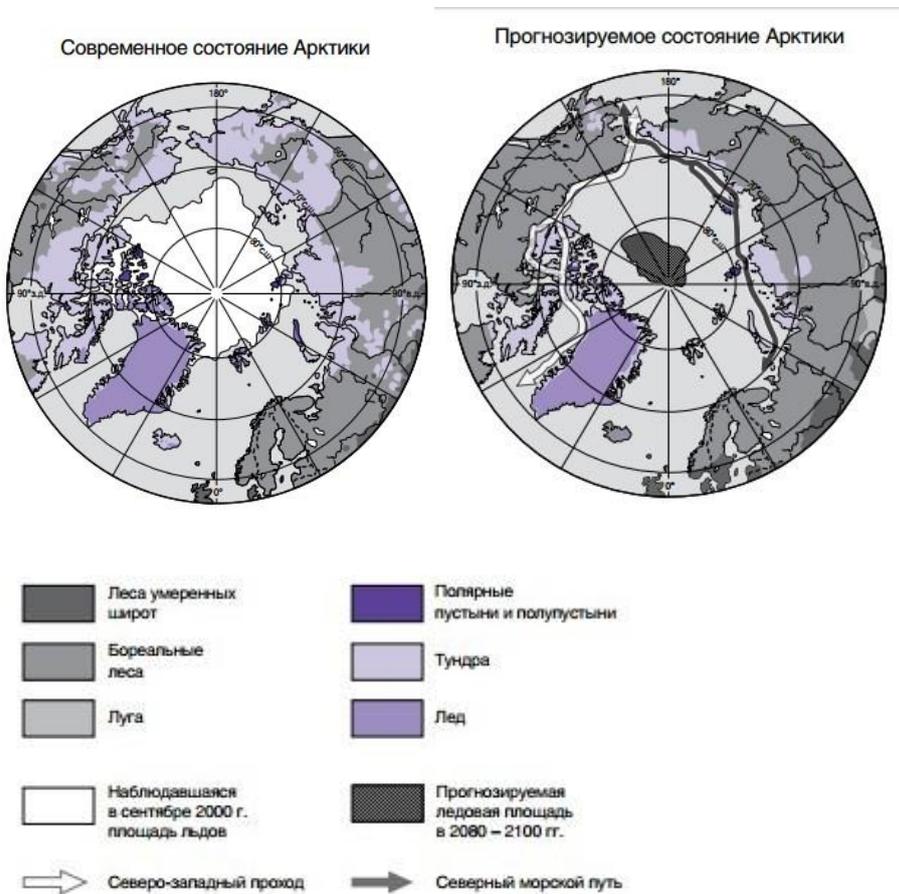
#### 4.3 Происходящие и ожидаемые перемены в полярных регионах

Основные региональные последствия и их глобальная значимость. Предположительно, изменение климата в полярных регионах будет иметь

много прямых последствий – как региональных, так и глобальных, – которые проявятся посредством следующих процессов и обратных связей

1. Изменится отражающая способность снега, льда и растительного покрова: отражающая способность снега, льда и растительного покрова играет определяющую роль в формировании глобального климата за счет альбедо (отражения) и поглощения приходящего на землю солнечного излучения разными типами подстилающей поверхности.
2. Произойдет сокращение ледников в горах и ледяного покрова суши, изменение речного стока, повышение уровня океанов и изменение циркуляции в морях и океанах: сокращение ледников в Арктике и ускорение таяния краев ледяного панциря Гренландии
3. Изменится характер миграции живых организмов: виды животных и птиц, ежегодно мигрирующие на летний сезон из более низких (умеренных) широт в приполярные регионы, находятся в зависимости от специфических существующих в полярных широтах условий
4. К 2100 г. усредненные уровни потепления в Арктике составят от 2° до 9°С – в зависимости от применяемой модели и рассматриваемого сценария.
5. Наибольшее проявление предполагаемого потепления ожидается в осенне-зимний сезон над лишенными льда областями приполярных океанов.
6. Над территорией суши ожидаются меньшие сезонные колебания проявлений потепления. Хотя для некоторых территорий (скажем, Канадского Арктического архипелага) ожидаемые процессы не столь определены.
7. Сокращение бесснежного периода преимущественно приходится на весенний сезон. Большинство моделей указывают на то, что данный процесс будет продолжаться. Все это окажет влияние как на природные процессы, так и на уровень Мирового океана.

8. Как следствие изменения климата в XXI веке следует ожидать продолжения потепления, таяния ледников и сокращения ареала многолетней мерзлоты.



Рисунки 4.6 и 4.7 Современное состояние Арктики и прогнозируемое

## Заключение

В данной работе были собраны данные по трём станциям: Оймякон, Нью-Олесунн и Саммит, составлены графики распределения температур за год, составлены аэродинамические диаграммы за два сезонных месяца, с использованием данных, которые получены путем аэрологического зондирования. Был проведён анализ диаграмм, а так же графиков. В анализе мы выявили особенности температурного режима тропосферы полярных регионов Северного полушария. Наличие инверсионного слоя, тропопаузы, а так же радикально низкие температуры у земной поверхности – всё это особенности температурного режима выбранного региона.

Так как тропосфера является кузницей климата, любые изменения в температурном режиме ведут за собой последствия глобального характера. В связи с тенденцией глобального потепления полярные регионы играют одну из главных ролей в формировании мирового климата, в частности снижение альбедо и повышение среднемесячных температур Арктики и всего полярного региона Северного полушария. Несомненно, изменение климата будет иметь последствия, такие как сокращение ледяного и снежного покрова, увеличение уровня Мирового океана, сокращение ледников в горах. Решения этой проблемы, по моему мнению, следующие:

Сокращение выбросов парниковых газов в атмосферу;

Переход на альтернативные энергоресурсы (от угольных к солнечным батареям);

Осознанный подход к использованию ресурсов (например, сокращение использования пластика человеком).

## Список использованной литературы

1. Зингер Е. М. Страна гор и ледников // Природа. — 1997. — Август (№ 8 (984)). — С. 30-45. — ISSN 0032-874X.
2. Сергей Доля. Самый северный город в мире. // ЖЖ (29 августа 2016). Дата обращения 9 сентября 2016.
3. П.Н. Тверской. Курс метеорологии. Гидрометеиздат, 1962.
4. Атмосфера Земли. Сборник. Москва, 1953.
5. А.Л. Кац. Циркуляция в стратосфере и мезосфере. Гидрометеиздат, 1968.
6. Использованы также материалы журналов «Метеорология и гидрология» и «Наука и жизнь»
7. А.Сергеев, Глобальное потепление, или Высокий градус политики // Вокруг света, 2006 № 7
8. Б. Лучков. Годы грядущие (климат и погода XXI века) // Наука и жизнь, 2007 № 10
9. А.В. Егошин, Глобальное потепление: факты, гипотезы.
10. А.А. Мочалов, В.П. Пархоменко, А.М. Тарко. Глобальное потепление
11. Лосев К.С. Климат : вчера, сегодня... и завтра?
12. Методические указания по дисциплине "Физика атмосферы". Физика атмосферы – СПб., Изд. РРГМУ. 2000. – 40 с. (Е. Г. Головина, доц., РРГМУ. В. И. Ковалев, доц., РРГМУ)
13. Оймякон Полюс холода. якутск 2005г, Т.Е. Васильева
14. <https://wwf.ru/>
15. <https://world-weather.ru>
16. <http://www.pogodaiklimat.ru>
17. <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>