



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему «Изменчивость параметров тропопаузы по данным аэрологического зондирования в зимний период»

**Исполнитель**                    **Баранова Анастасия Александровна**  
(фамилия, имя, отчество)

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

**Восканян Карина Левановна**  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

доктор физико-математических наук, профессор  
(ученая степень, ученое звание)

**Кузнецов Анатолий Дмитриевич**  
(фамилия, имя, отчество)

«30» мая 2022 г.

Санкт-Петербург  
2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Общее описание месторасположения аэрологической станции.....	6
1.1 Географическое расположение региона.....	6
1.2 Климатические особенности региона.....	9
2 Характеристика аэрологической станции.....	13
2.1 Описание аэрологической станции.....	13
2.2 Техническое оснащение аэрологической станции.....	15
2.2.1 Радиозонд малогабаритный МРЗ-3МК.....	15
2.2.2 Гигрометр волосной метеорологический.....	21
2.2.3 Анеморубомер М63М-1.....	22
2.2.4 Станционный чашечный барометр.....	25
2.2.5 Станционный психрометр.....	31
2.2.6 Радиолокационный комплекс «МАРЛ-А».....	34
3 Тропопауза.....	40
4 Анализ изменчивости параметров тропопаузы на территории Архангельской области за зимний период 2017-2021гг.....	42
Заключение.....	48
Список использованных источников.....	49

## Введение

Аэрология - это наука, которая изучает физические явления и процессы, которые происходят в слоях атмосферы, где не происходит непосредственного влияния подстилающей поверхности земли. Аэрология изучает строение и состав атмосферы на больших высотах, режим температуры и воздушные течения на разных высотах, а также облака и связь между процессами в тропосфере.[1].

Цель аэрологических измерений - это получение показателей, описывающих состояние атмосферы на разных высотах. Посредством обобщения и анализа результатов аэрологических измерений определяются связь и физическая закономерность явлений и процессов в свободной атмосфере, а также определяются причины их возникновения и развития.

Результаты аэрологических измерений используются службой погоды для составления аэрологических и высотных карт. Развитие методов аэрологических измерений, а также изучение процессов, которые происходят в свободной атмосфере, являются важным условием успеха синоптической метеорологии.[2].

Цель данной работы – анализ изменчивости температуры воздуха по данным аэрологического зондирования в зимний период.

Исследование основано на выявлении изменчивости параметров тропопаузы на территории Архангельской области за зимний период.

Исследование тропопаузы имеет важное значение не только в аэрологии, но и в метеорологии. Связь между стратосферой и тропосферой имеет значительную важность потому, что даже незначительные изменения в обмениваемых количествах влаги и химических составляющих могут приводить к значительным изменениям в глобальном климате и климата

региона. Знание пространственно-временной структуры тропопаузы имеет огромное значение для ряда прикладных исследовательских задач.

Актуальность исследования связана с особенностями географического положения и климатических условий территории. Обусловлено это тем, что изменения температуры на уровне тропопаузы служат критериями изменчивости земной климатической системы и имеют большое значение для арктического региона.

Объект данной работы – высоты тропопауз и соответствующие им температуры за зимний период

Предмет данной работы – особенности изменения показателей тропопаузы на территории Архангельской области.

Для данной работы определены следующие задачи:

1. Проанализировать имеющуюся литературу
2. Рассмотреть общее географическое и климатическое положение района, где находится аэрологическая станция
3. Проанализировать и описать техническое оснащение аэрологической станции
4. Подготовить для исследования базу данных радиозондирования за зимний период (декабрь–февраль) с 2017 по 2022 г., по результатам измерений на аэрологической станции, расположенной в Архангельске южнее полярного круга.
5. Исследовать пятилетнюю динамику показателей тропопаузы за зимний период и дать им сравнительную характеристику.

## 1 Общее описание месторасположения метеостанции

### 1.1 Географическое расположение региона

Для проведения данной работы была выбрана территория Архангельской области, в частности в Архангельске.

Архангельская область расположена на севере европейской части равнины. Территория Архангельской области омывается тремя морями: Белым, Баренцевым, и Карским. В западной части граничит с Карелией, а в северной - с Мурманской областью, в южной части - с Вологодской и Кировской областью, а в юго-восточной части с Ямало-Ненецким автономным округом. В восточной части граничит с Республикой Коми. Архангельская область изображена на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Территория Архангельской области

Рельеф материковой части области в основном равнинный с наклоном поверхности с юга на север. Равнина занимает около 500 тыс. км<sup>2</sup>(87% всей площади области). В центральных и южных частях территория области представляет собой волнистую равнину с волнообразными возвышенностями (Коношская, Няндомская). На северо-западе находится горный кряж – Ветряный Пояс, на севере – Канин камень, Тиманский кряж (высота 471 м), на северо-востоке – Хребет Паи-Хой. На востоке от Тиманского кряжа находится обширная заболоченная Печорская низменность, где расположены Большеземельская и Малоземельская тундра. Малоземельская тундра – это преимущественно слабоволнистая равнина, а Большеземельская тундра – холмистая равнина, которая прорезана густой речной сетью, с множественными моренными холмами и грядами (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Большеземельская тундра

В междуречье Онеги и Северной Двины, в бассейне рек Кулой развиты карстовые формы рельефа.[3].

Территория Архангельска соответствует рельефу Онего-Двинско-Мезенской равнине. В западной части и в районе Беломорско-Кулойского плато территория Архангельской области получила широкое развитие карстовые формы рельефа (карстовые воронки и котловины, пещеры и пр.). Значительная часть Архангельской области это районы Крайнего Севера, а именно архипелаги Земля Франца-Иосифа и Новая Земля, территория Ненецкого автономного округа, Лешуконский, Мезенский, Пинежский районы, городской округ Северодвинск и острова Белого моря. Архангельск приравнен к районам Крайнего Севера. Карта рельефа Архангельской области представлена на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Рельеф Архангельской области

## 1.2 Климатические особенности региона

Значительная протяженность Архангельской области с севера на юг и с запада на восток и различные физико-географических условий создают огромное различие климата отдельных из ее частей. Территория Архангельской области находится в трех климатических поясах: арктический, субарктический и умеренный. Арктическом пояс - это архипелаг Земля Франца-Иосифа и часть острова Новой Земли. Территория Ненецкого автономного округа находятся в субарктическом поясе. Остальная часть области находится в атлантико-арктической области умеренного пояса.

Климат формируется с учетом низкой солнечной радиации зимой, а также благодаря северным морям и интенсивного западного переноса, который обеспечивает вынос влажных масс воздуха с Атлантического океана, и под влиянием местных физико-географических особенностей территории. Баланс тепла и влаги определяется радиационными и циркуляционными факторами и зависит от рельефа и характера подстилающей поверхности. В Архангельской области рельеф преобладает равнинный, плавно понижающийся к северу, это обуславливается близостью Атлантики и Северного Ледовитого океана, наличие многочисленных рек, озер, болот, растительность, возвышенности. Разнообразие режима каждого климатического элемента (температуры воздуха и почв, атмосферных осадков, ветра, облачности), определяется благодаря сложному взаимодействию климатообразующих факторов.

Главная роль в формировании климата области - это радиационный процесс, определяющийся географической широтой. Количество солнечной радиации зависит от высоты солнца над горизонтом и продолжительности дня. На побережье Баренцева моря солнце не заходит за горизонт с середины мая до конца июля. На юге от Полярного круга в этот момент продолжительность дня сильно превышает продолжительность ночи. Это называется «белыми ночами». Географическая широтная зональность



распределения солнечной радиации нарушается благодаря атмосферной циркуляцией, которая обладает свойствами данной поверхности. Количество суммарной радиации за годовой период может составлять около 60 % от возможной суммарной радиации для данных широт. В разные периоды, при сильно развитой циклонической деятельности, получаемая радиация находится в пределах 25...30 % от возможной, при антициклонической – возрастает до 75...80 %.

Атмосферная циркуляция значительно влияет на климат Архангельской области. Это обуславливается тем, что территория находится в зоне активной циклонической деятельности и частой смены воздушных масс, разных по месту своего формирования, влажности, температуре. Циркуляция - это основная причина нарушения широтной зональности и нециклических изменений в ходе метеорологических элементов. Циклоническая деятельность осенью и зимой особенно характерна. Перемещения теплого и влажного атлантического воздуха зимой сопровождаются повышением температуры, снегопадами, а при оттепелях характерны дожди. В летний сезон, благодаря этим циклонам, образуется вероятность влажного и прохладного воздуха, в связи с этим происходит похолодание с возникновением облачности и образование обильных дождей. На востоке области преобладает влажный атлантический воздух, который преобразуется в континентальный. На территорию Архангельской области Арктический воздух поступает с Карского моря. «Карский» воздух намного холоднее и суше. Благодаря арктическому воздуху зимой происходит резкое похолодание и морозы, а в летний период – заморозки. Перемещаясь к югу арктический воздух прогревается и преобразуется в континентальный. Повышение температуры воздуха в любое время года происходят благодаря циклонам с Средиземного и Черного моря. Весной вскрываются реки, а осенью устанавливается сухая солнечная теплая погода. Краткосрочное повышение температуры осенью называют «бабьим летом». В пределы области поступает сухой континентальный воздух умеренных широт зимой с

востока, а летом с юго-востока. Зимой континентальный воздух очень холодный, а летом теплый. Частая смена воздушных масс, усиленная циклоническая деятельность характеризует типичную для Архангельской области нестабильную погоду.

Нестабильный характер погоды влиянием Северной Атлантики и близостью Арктики. В Архангельской области редкая наземная наблюдательная сеть, что создает трудности в прогнозировании и раннем обнаружении опасных явлений погоды.[4].

Территория Архангельской области значительно велика, поэтому она имеет три климатических пояса — Арктический (Земля Франца-Иосифа), субарктический (НАО, остров Колгуев и Вайгач) и умеренный (значительная часть Архангельской области). На территории выражены все сезоны года: умеренно холодная снежная длительная зима, малооблачная весна, стабильно теплое лето, облачная осень с дождями. Очень низкие температуры зимой оказывают негативное влияние для работы промышленных производств. Возникают сильные морозы, вплоть до  $-45^{\circ}\text{C}$  и ниже, что характерно в основном для восточной территории Архангельской области в зимний период.

В Архангельской области производятся наблюдения за состоянием атмосферы на 58 метеостанциях 8 раз в сутки, из них -одна станция расположена на Земле Франца Иосифа, одна – на Новой Земле, двадцать станций находятся в НАО, тридцать шесть – на территории Архангельской области, а в самом Архангельске – 5 метеостанций.[5].

Характеристика рассматриваемой аэрологической станции, ее географические координаты и высота станции над уровнем моря представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1

## Характеристика исследуемой аэрологической станции

Название станции	Широта, град	Долгота, град	Высота над у.м., м
Аэрологическая станция в г.Архангельск	64.38 с.ш.	40,31 в.д	4

## 2 Характеристика аэрологической станции

### 2.1 Описание аэрологической станции

Аэрологические измерения играют значимую роль в удовлетворении запросов различных областей народного хозяйства. Особенно сильно необходимы данные замеры в авиации. Такие показатели, как распределение ветра и температуры с высотой, высота и мощность облачных слоев, турбулентность атмосферы, вероятность и степень обледенения самолета, все это имеет большое значение безопасного проведения полетов.

Во время изучения свободной атмосферы применяются разные методы и приборы. Кроме стандартных измерений исследования физических свойств высоких слоев атмосферы производятся так же и путем наблюдений над оптическими явлениями - это яркость сумеречного неба, метеорами, полярными сияниями.[6].

В основе систематических аэрологических измерений лежит измерение и анализ важнейших физических параметров и их характеристик свободной атмосферы в разной местности. Основными метеорологическими элементами являются: ветер, давление, температура и влажность воздуха, высота облаков. Измерение и анализ этих элементов в атмосфере оказывается более сложным, в отличие от подобных измерений у земной поверхности.

Методы аэрологических исследований отличаются по объекту изучения и по применяемому для этого способу. Основными являются методы, осуществляемые с помощью приборов. Эти приборы поднимаются на летательных аппаратах. В основном применяются аэростаты (оболочки), либо производятся замеры с помощью специальных устройств на самолетах. Эти приборы во время полета производят автоматическую регистрацию изменений метеорологических элементов, в зависимости от высоты и температуры в атмосфере. Кроме этого применяют методы, когда результаты измерений регистрируются с помощью оператора или

оборудованием, которое находится на аэрологической станции. Существуют три основных метода:

1) Метод шаропилотных наблюдений, когда во время проведения замера положение шара-пилота при полете определяется с помощью датчиков;

2) Метод радиоветровых наблюдений, когда наблюдения над шаром проводятся с помощью радиолокатора;

3) Метод радиозондов, когда результаты измерений давления, температуры и влажности воздуха передаются с помощью специального оборудования по радиосвязи и регистрируются в аэрологической станции специальным радиоприемным оборудованием.

В обычной практике аэрологических измерений чаще применяется последний метод с регистрацией результатов измерений в аэрологической станции. В настоящее время исследование воздушных потоков в свободной атмосфере осуществляется при помощи шаропилотного и радиопилотного наблюдения. Для измерения основных параметров, таких как давление, температура и влажность на разных высотах используют радиозонд, который поднимается на шаре с водородом. В некоторых случаях пользуются метеорографом, который перемещают на самолетах. Радиозондовые замеры в основном проводят вместе с радиоветровыми наблюдениями. Границу облачных слоев исследуют с помощью шаропилотного наблюдения и радиоветрового зондирования, также при помощи прожектора, и при помощи зондирования на аэростатах и самолетах.[6].

Специально оборудованные самолеты используются для изучения микроструктуры облаков, турбулентности атмосферы и обледенения. При исследовании облаков и осадков применяются методы радиолокационного зондирования атмосферы.

Метеорологические ракеты, оснащенные специальным оборудованием, применяют для исследования стратосферы и более высоких слоев атмосферы.

## 2.2 Техническое оснащение аэрологической станции

### 2.2.1 Радиозонд малогабаритный МРЗ-3МК

Радиозонд предназначен для работы с радиолокационными системами радиозондирования атмосферы МАРЛ-А и «Вектор-М», оснащенными модернизированным программным обеспечением. Общий вид изображен на рисунке 2.1.

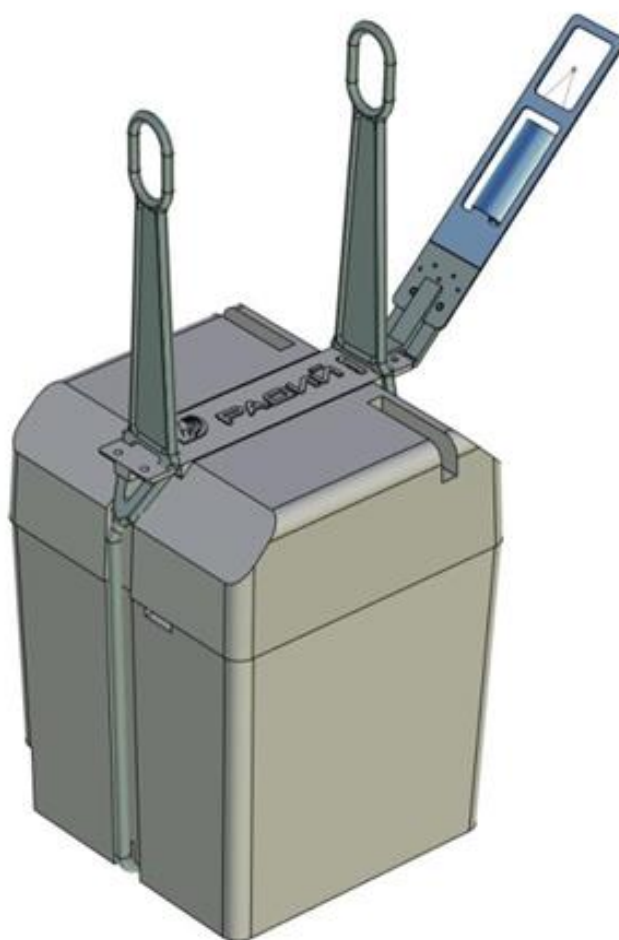


Рисунок 2.1 – Общий вид радиозонда

Радиозонд обеспечивает формирование активного ответа на запросный сигнал радиолокационной станции при помощи сверхрегенеративного приемопередатчика. Высокие показатели чувствительности и излучаемой

мощности, обеспечивают устойчивое радиозондирование атмосферы на удалении до 250 км и высоты до 40 км.

Радиозонд снабжен встроенной литиевой батареей, обеспечивающей непрерывную работу в условиях воздействия экстремально низких температур более четырех часов.

Передача телеметрической информации производится в цифровом виде с периодом обновления 2 с.

В качестве датчика температуры используется миниатюрный бусинковый термистор с малым показателем тепловой инерции. Для защиты от механических повреждений терморезистор установлен в окне печатной платы блока датчиков.

Принципиальная структурная схема радиозонда изображена на рисунке 2.2 и содержит следующие узлы:

- датчик температуры;
- датчик влажности;
- сигма-дельта АЦП 1;
- сигма-дельта АЦП 2;
- центральный процессор (ЦП);
- порты ввода-вывода общего назначения (ПВВОН);
- сверхрегенеративный приемо-передатчик (СПП);
- стабилизатор среднего тока;
- стабилизатор напряжения;
- антенну;
- батарею.

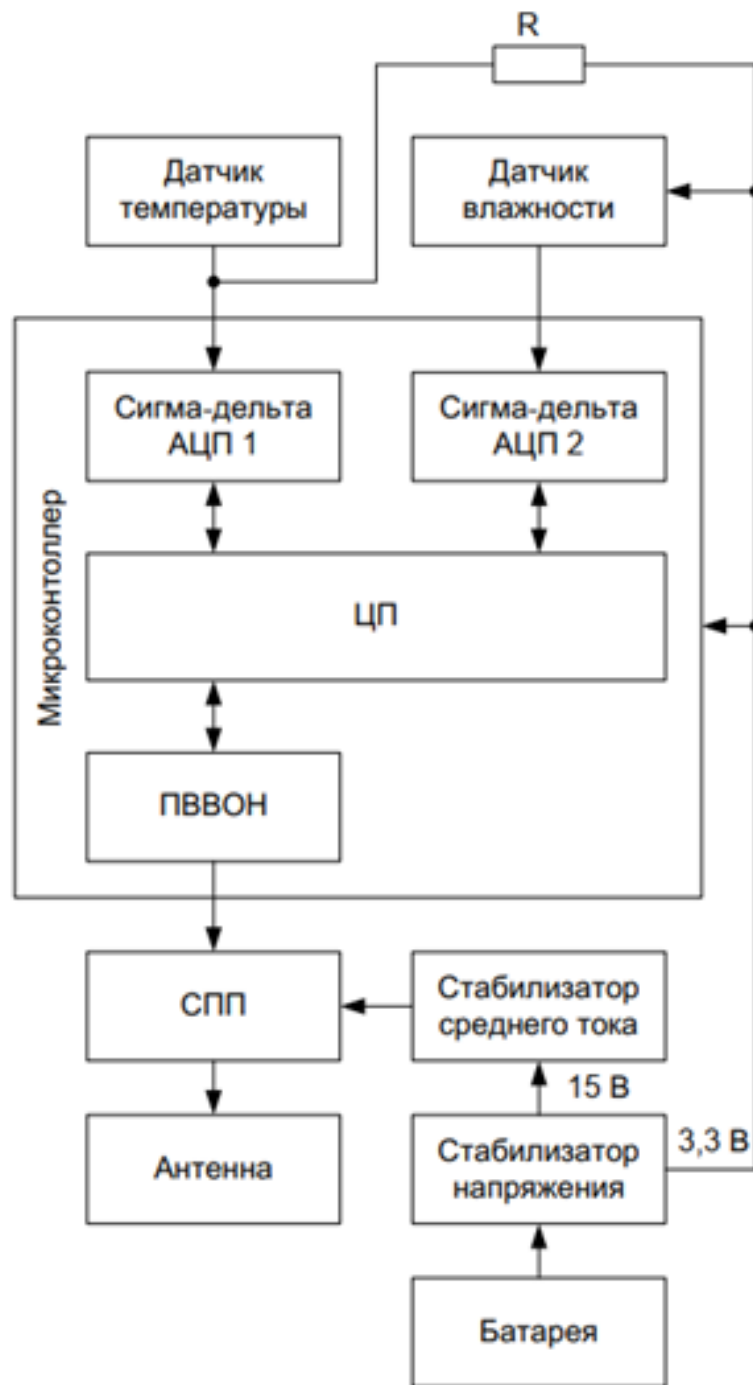


Рисунок 2.2 – Общая структурная схема

Радиозонды используются для проведения измерений относительной влажности окружающего воздуха и температуры, и дальнейшей преобразования и передачи полученной радиотелеметрической информации с помощью радиосвязи, а также для обработки ответного сигнала на



запрашиваемый сигнал по дальности. Радиозонды применяют в сети аэрологических Росгидромет станций. Радиозонд – это прибор одноразового действия, который состоит из основных узлов:

- блок датчиков;
- блок радиопередачи;
- корпус с крышками и батареей;
- держатель блока датчиков.

Длительность работы радиозонда около 50 часов, из них время непрерывной работы от момента подключения к нему батареи не менее 2 часов. В рабочих условиях эксплуатации погрешность преобразования информации о температуре окружающего воздуха обуславливается погрешностями АЦП канала температуры и датчика температуры, а погрешность преобразования информации об относительной влажности – погрешностями АЦП канала влажности и датчика влажности. Данный прибор является одноразовым. Радиозонд вместе со станцией слежения позволяет вычислять температуру, влажность, скорость и направление ветра на высотах.

Для подъема радиозонда в атмосферу применяют оболочку, которая наполнена газом, чаще всего водородом. Информация о параметрах атмосферы содержится в радиосигнале, который состоит из пакета цифровых значений, закодированных специальным кодом "Манчестер-2". Цифровой пакет передается по радиосвязи в течение 2 с, формируя тем самым один кадр телеметрического сообщения. С каждым кадром телеметрическая информация обновляется. Передача осуществляется без перерывов между пакетами и кадрами. Сигнал телеметрического сообщения имеет несущую частоту заполнения. Изменения частоты суперизации определяются модулирующим сигналом. Передаваемый пакет данных состоит из оперативно изменяющейся информации и дополнительной информации. Оперативно изменяющаяся информация содержит данные телеметрии и обновляется в каждом кадре.

Дополнительная информация содержит информацию о градуировке, информацию о напряжении батареи и температуре микроконтроллера. В каждом кадре передается 4 байта дополнительной информации, все дополнительные параметры передаются 12 кадрами. Ответный сигнал используется станцией для определения параметров ветра, который позволяет вычислять координаты радиозонда в отдельный момент времени. По изменению координат находится скорость и направление ветра на заданном участке, где находится радиозонд.[7].

Первичная реакция выражается в увеличении продолжительности радиоимпульса, с предыдущим запросным сигналом радиозонда. Вторичная реакция – это уменьшение продолжительности радиоимпульса, следующего сразу за увеличивающимся импульсом. Поэтому ответный сигнал – это последовательность из 2 радиоимпульсов, когда один из них увеличен, а другой уменьшен по продолжительности других импульсов радиозонда.

Датчик температуры и влажности преобразовывают первичную информацию о температуре и влажности атмосферы в электрическое сопротивление и напряжение.

Микроконтроллер в радиозонде используется для оцифровки сопротивления резистора и датчика температуры посредством встроенного АЦП-1 «сигма-дельта», а также для дальнейшей оцифровки напряжения датчика влажности с помощью АЦП 2. В микроконтроллере хранится информация о предыдущих градуировках «сигма-дельта» АЦП. Центральный процессор микроконтроллера преобразовывает расчеты по заданным алгоритмам, далее формирует кадр телеметрических сообщений. Кроме того микроконтроллер создает частоту суперизации для СПП, которая формирует частотную модуляцию кадра телеметрического сообщения с частотой суперизации.

Модулированный сигнал поступает на вход СПП через ПВВОН. СПП имеет функцию генератора несущей частоты, приемника запросных

радиоимпульсов станции слежения и активного ответчика по каналу дальности.

Стабилизатор напряжения обеспечивает элементы схемы радиозонда всеми нужными напряжениями питания со стабилизацией. Стабилизатор среднего тока необходим для стабилизации автогенератора СПП, обеспечивая его устойчивую работу.[7].

Антенна создает диаграмму направленности и необходима для приемки запросных радиоимпульсов и для излучения колебаний типа сверхвысокой частоты, имеющих в составе телеметрическую информацию.

Для датчика влажности используется емкостный датчик. На датчик устанавливается защитный чехол для предохранения чувствительного элемента от влаги и перегрева под прямыми солнечными лучами.[7].

### 2.2.2 Гигрометр волосной метеорологический

Гигрометр волосной метеорологический ТУ 25-04-1862-72(рис. 2.3) используется для измерения влажности воздуха при температуре менее минус 10 °С.

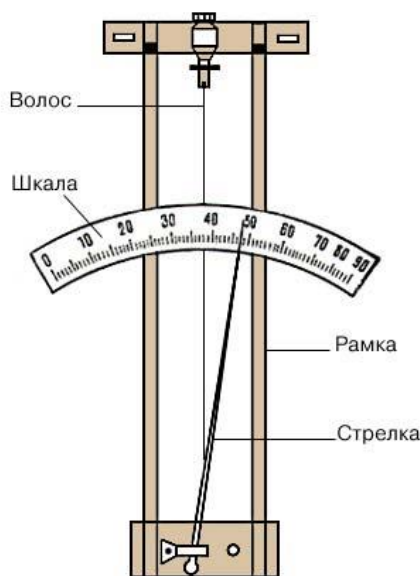


Рисунок 2.3 – Волосной гигрометр

Работа основана на особенности человеческого волоса, которая способна изменять свою длину в зависимости от перемены влажности.

У шкалы есть неравномерные уменьшающиеся деления 0...100, деления через каждые 10 пунктов. Цена деления шкалы составляет 1 % от относительной влажности.

Для перевода стрелки прибора, нужно ослабить и вращая гайку, перенести стрелку влево, чтобы при значении влажности 100 % стрелка находилась около 98-м деления шкалы. Если стрелка находилась выше деления «100» не более чем на 7 делений, то необходимо перевести влево на 10 делений. Перевод стрелки следует сделать до начала осенне-зимнего сезона, чтобы было время для сравнения гигрометра с психрометром.[8].

### 2.2.3 Анерубомер М63М-1

Анеморубомер М63М-1 используется в аэрологических станциях для дистанционного измерения мгновенной, максимальной и средней скоростей ветра, в том числе и его направления, в условиях аэрологической станции. Используется для сбора метеоинформации, а также и других областях промышленности. Сбор базы данных с данной информацией о различных показателях ветра в компьютере помогает иметь информацию за любой период времени. Общий вид представлен на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Общий вид Анеморумбометра М63М-1

Принцип действия анеморумбометра состоит в использовании зависимостей скорости ветра и числом оборотов пропеллера, а также между направлением ветра и положением флюгера с датчиком ветра. Скорость и направление ветра с помощью анеморумбометра преобразуется в частоту и фазовый сдвиг электрических импульсов, которые после кодируются и далее позволяют производить расчеты параметров ветра.

Состав анеморумбометра представляет собой: датчик ветра, преобразователь, соединительные кабели и пульт управления.[9].

Соединительный кабель необходим для подсоединения к одному компьютеру два и более анеморумбометров М63М-1. В ходе работы компьютер управления обращается к пультам управления и происходит считывание данных с блока центрального процессора данного устройства через специальную плату с последующей преобразованием и передачей данных в компьютер управления. Во время работы на преобразователе загораются и гаснут зеленые индикаторы. Программное обеспечение проводит также вычисление средних значений направления и скорости ветра.

Датчик ветра (рис. 2.5) необходим для преобразований скорости и направления ветра в частоту и фазовый сдвиг последовательностей электрических импульсов, с помощью 2 плат-импульсаторов, изготовленных из элементов под названием «геркон».

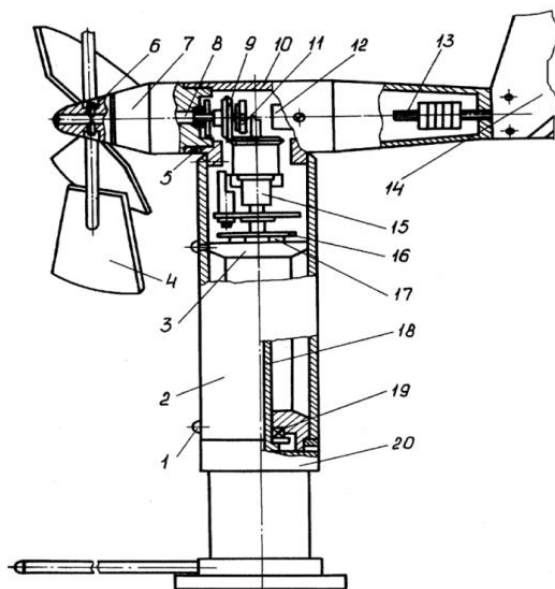


Рисунок 2.5 – Устройство датчика ветра анеморумбометра М63М-1

1, 6 – винты; 2, 18 – трубы; 3 – ступица; 4 – вертушка; 5 – стопорный винт; 7, 10 – корпус; 8 – ось; 9 – шестерня; 11 – магнит; 12 – груз; 13 – шпилька; 14 – флюгарка; 15 – обойма; 16 – крышка; 17, 19 – подшипники; 20 - втулка

Электрическая принципиальная схема изображена на рисунке 2.6.

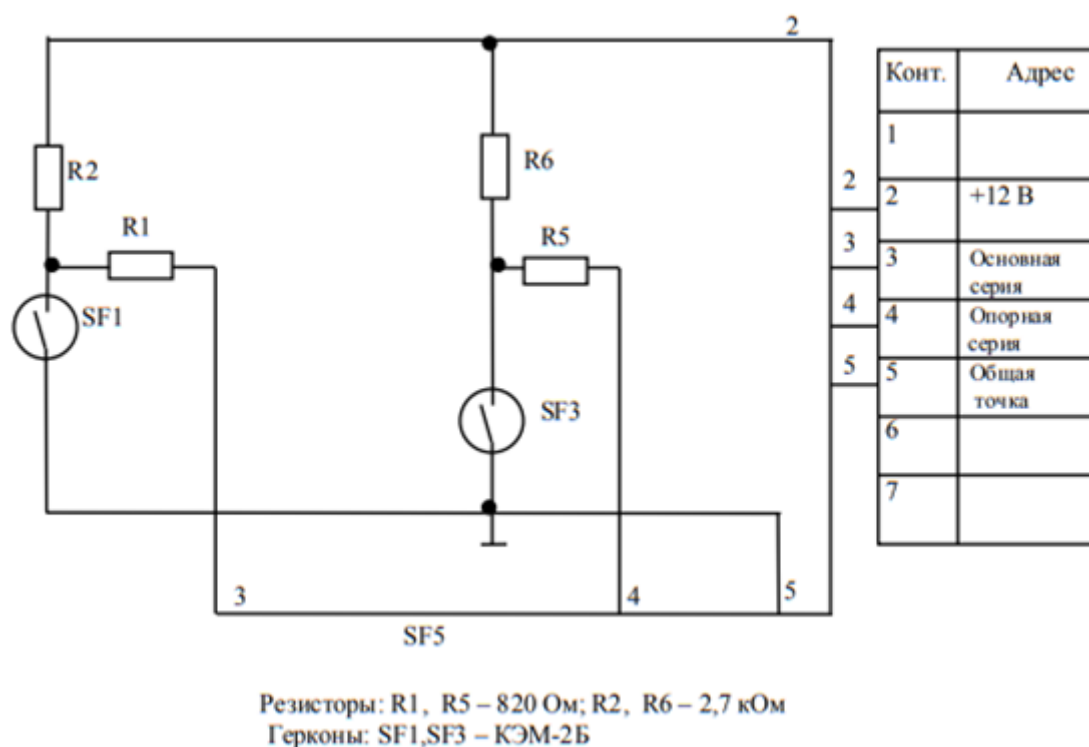


Рисунок 2.6 – Датчик ветра. Принципиальная электрическая схема

#### 2.2.4 Станционный чашечный барометр

Станционный чашечный барометр (рис. 2.7) используется для определения атмосферного давления на аэрологических станциях. Барометр состоит из прямой стеклянной трубки (6), заполненной ртутью. Нижний конец трубки при использовании шайбы-втулки (10) с винтовой нарезкой закреплен в крышке пластмассовой чашки (9). Данная чашка состоит из трех нижней, средней и верхней части. Средняя часть (11) имеет перегородку с отверстиями. Перегородка позволяет исключать внезапные колебания ртути в чашке, во время которых в барометрическую трубку может попасть воздух или другой газ.

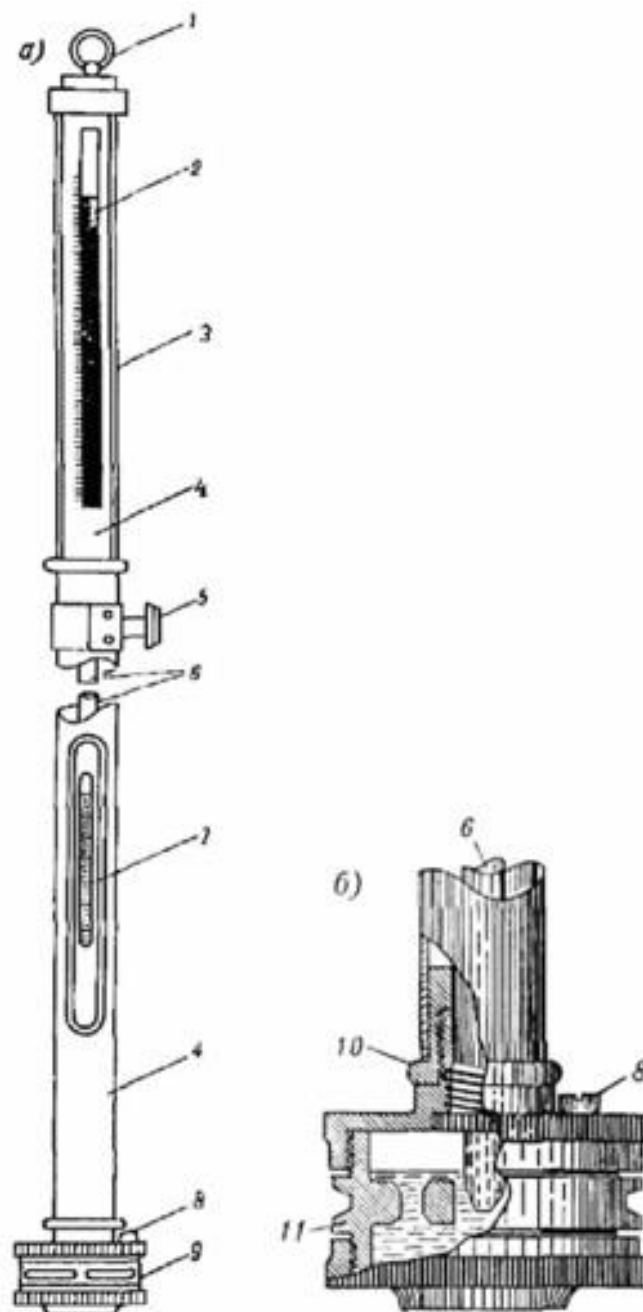


Рисунок 2.7–Стационарный чашечный барометр

Уровень ртути в чашке расположен немного выше диафрагмы. Для того, чтобы ртуть в чашке соединялась с воздухом снаружи трубки, в верхней части чашки проделано маленькое отверстие, которое закрывается винтом (8), который отвернут во время рабочего состояния барометра на 2...3 оборота.



Стеклянная трубка, длина которой около 80 см, а внутренний диаметр 7,5 мм. В верхней части имеется вакуум, благодаря чему, под действием давления, ртуть вытесняется из нее в трубку и поднимается до определенной метки, причем вес ртутного столба равен атмосферному давлению. Трубка помещается в металлическую оправу (4), которая привинчена к чашке прибора.

Оправа защищает стеклянную трубку от повреждений и является опорой. На верху оправы закреплен колпачок с кольцом (1) для монтажа прибора. На верхней части оправы (4) изготовлена вертикальная щель, которая позволяет смотреть за положением уровня ртути в трубке.

Нониус - это передвижная вспомогательная шкала для проведения отсчета десятых долей делений шкалы прибора. Нулевое деление нониуса равно нижнему, который служит для наводки на уровень ртутного столба. Для проведения измерений визирная линия должна проходить через ноль передвижной шкалы и задевать вершину уровня ртутного столба. Передвижение вспомогательной шкалы по вертикали вдоль шкалы прибора осуществляется при помощи кремальеры (5). Шкала прибора размечена в гПа или в мм ртутного столба. Ртутный барометр закрепляется в служебном помещении аэрологической станции на прочной поверхности стены в специальном трехгранном шкафу (рис. 2.8), у которого боковая стенка является створкой. Во время измерений створку шкафа открывают и она не мешает наводке нониуса и проведению измерений.

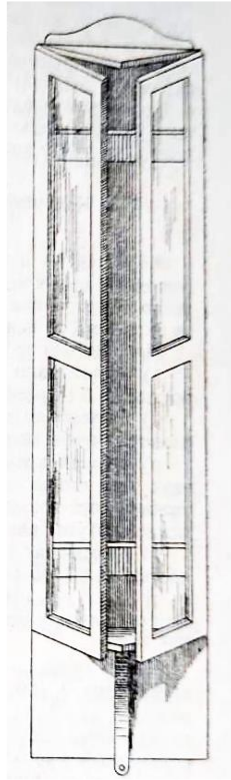


Рисунок 2.8 – Шкафчик барометрический

В специальном шкафу прибор размещают за специальное кольцо к крюку с гайкой. Прибор не должен подвергаться внезапным колебаниям температуры, для этого шкаф с барометром должен находиться как можно дальше относительно источников тепла, окон и проемов дверей. Его нужно оберегать от попадания прямых солнечных лучей. Чтобы уровень чистой ртути был хорошо виден, необходимо на задней поверхности шкафа, наклеить бумажный лист. Для этого же используют матовое стекло, с электрической лампочкой, расположенной между шкафом и стеной помещения, где находится шкаф. [9].

Для вычисления величины атмосферного давления на аэрологической станции необходимо вносить поправки в отсчет по барометру, которые бывают трех видов.

1) Инструментальная поправка. Она зависит от качества изготовления барометра и ухода за ним. Барометры могут включать некоторые неточности,

для чего и вводится эта поправка. Через каждые 3 года эта поправка должна корректироваться инспектором на данной аэрологической станции.

2) Нулевая поправка. Необходима для соотношения показаний барометра к  $0^{\circ}\text{C}$  и характерна изменением плотности ртути в зависимости от температуры воздуха. Во время увеличения температуры высота ртутного столба увеличивается, а при понижении – падает. Поэтому, при одинаковом давлении, но при разных температурах, показания барометра будут разными. Для этого, на всех аэрологических станциях в отсчет по барометру вводится данная поправка.

3) Поправка на приведение показаний барометра к стандартной силе тяжести. Сила тяжести зависит от высоты места над уровнем моря, так как увеличением высоты, где находится аэрологическая станция с данным барометром, ускорение силы тяжести уменьшается. Поэтому будет меняться и вес ртути, высота столба ртути. Для этой поправки все показатели сил тяжести приводят к стандартной силе тяжести. Стандартное значение соответствует ускорению силы тяжести на широте  $45^{\circ}$  и на нулевом уровне моря. Так же постоянной остается инструментальная поправка. Благодаря этому, данные поправки объединяют в одну поправку - постоянная. [9].

#### 2.2.5 Станционный психрометр

Станционный психрометр является разновидностью психрометра, который состоит из 2 термометров, закрепленных вертикально в психрометрической будке (рис. 2.9). Психрометрическая будка на аэрологической станции в г. Архангельске изображена на рисунке 2.10.

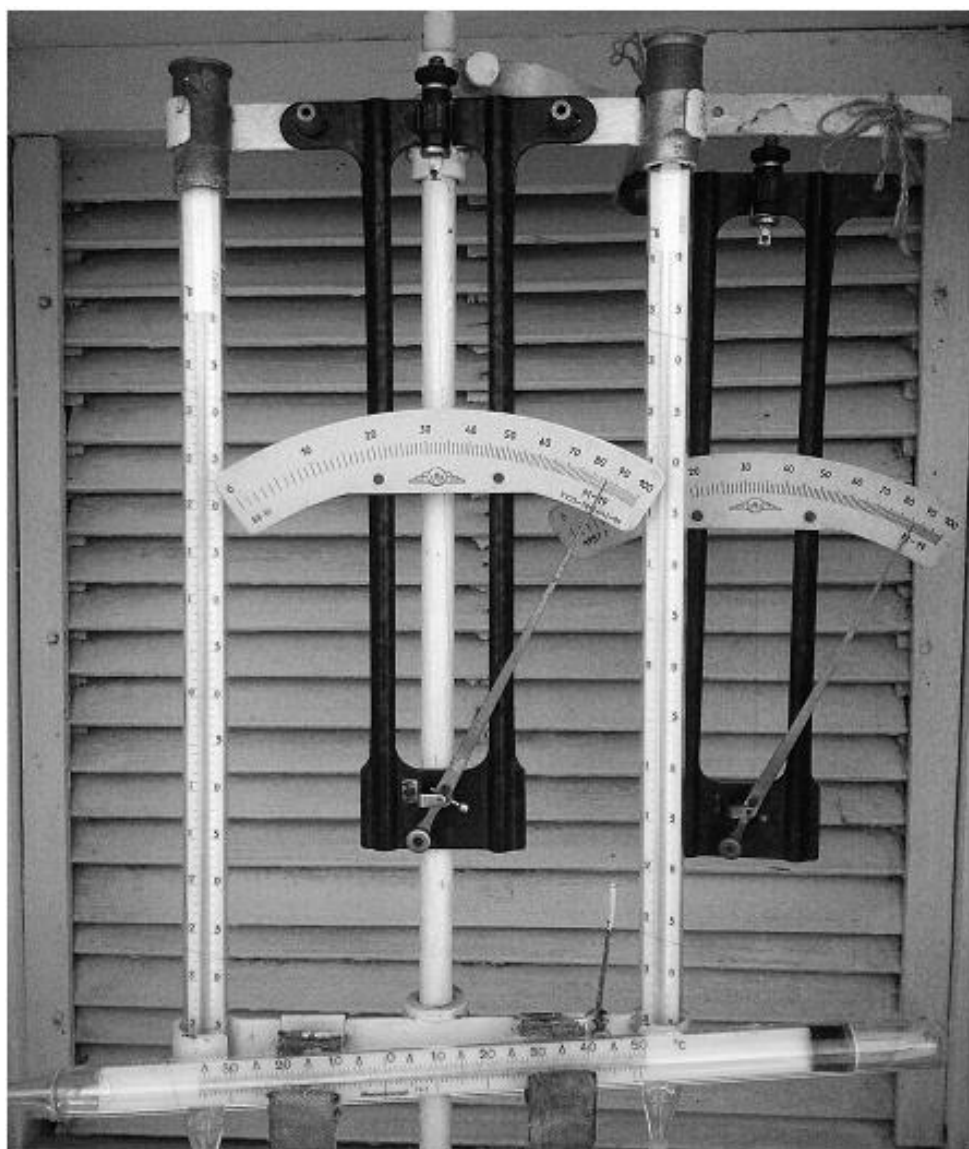


Рисунок 2.9 – Психрометрическая будка



Рисунок 2.10 – Психрометрическая будка аэрологической станции в Архангельске

Резервуар правого термометра закрепляется на штативе и плотно оборачивается слоем кусочком ткани (батист), конец его погружается в стакан с водой. Стакан закрывается крышкой щелью для ткани. Измерения на психрометре проводятся при плюсовых значениях температуры воздуха, а также при отрицательной, если она не ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ . Если температуре воздуха опустилась ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , то кончик ткани на смоченном термометре удаляется. Ткань нужно намочить за полчаса до начала измерений. При

низкой температуре воздуха вода на батисте может быть не только в твердом состоянии, но и в жидком. Чтобы определить агрегатное состояние жидкости, нужно коснуться к батисту ручкой и наблюдать за показанием термометра. Когда уровень ртути поднимется, то значит на ткани была вода, которая перешла в твердое агрегатное состояние. При этом выделяется скрытая теплота, поэтому и повысилось показание термометра. Когда при касании к батисту уровень ртути не изменяется, то значит, что на батисте вода была в состоянии льда, и соответственно изменения агрегатного состояния не происходило. Расчет параметров влажности воздуха по показаниям психрометра определяется при помощи психрометрической таблицы (табл. 2.1).[10].

Таблица 2.1

Психрометрическая таблица

Показания сухого термометра, °C	Разность показаний сухого и влажного термометров, °C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Относительная влажность, %											
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	-
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33

## 2.2.6 Радиолокационный комплекс «МАРЛ-А»

Радиолокационный комплекс «МАРЛ-А» необходим для проведения работ для комплексного метеозондирования атмосферы на аэрологической станций РФ.

Принцип работы комплекса «МАРЛ-А» основанна схеме неизлучающего радиотеодолита и позволяет проводить измерения различные аэрологических параметров, таких как - температура, влажность, скорость и направление ветра в атмосфере, учитывая давление и высоты, на котором работает зонд. Так как аэрологические станцииоснащены активными радиолокационными комплексами радиозондирования, которые способнырасчитывать угловые координаты по данным радиозонда, и соответственно дальность по ответам на запросный сигнал от радиолокатора с аэрологической станции. Комплекс «МАРЛ-А»способен обеспечиватьрасчетвместе с радиозондом. Радиозонд комплекса«МАРЛ-А» в свободном полете на оболочке, наполненным водородом,проводит замеры необходимых параметров атмосферы (температура и влажность атмосферы) и далее по каналу радиосвязи отсылает эти параметры на землю в радиолокационный комплекс «МАРЛ-А». В данной системе поддерживаются все типы аналоговых радиозондов. Система проводит автоматический поиск и сопровождение радиозонда в свободном полете, точно определяя его текущие координаты и определяя по ним скорость и направление ветра, а также прием и обработку аэрологической информации (температура и влажность атмосферы).Также проводит автоматизированную подготовку и выдачу через радиосвязь стандартныхметеотелеграмм. Перед полетом на газонаполненной оболочке радиозонда, система «МАРЛ-А» проводит проверку радиозонда и всей системы связей, с представлением результатов на мониторе ПК оператора на посту управления.

Основным элементом комплекса является аэрологический радиолокатор «МАРЛ-А», который представляет собой новое поколение систем радиозондирования. Данная система радиозондирования не требует сложного технического обслуживания и она способна работать в любых климатических условиях.

Комплекс имеет две основные части: антенный пост (рис. 2.11) и пост оператора на аэрологической станции.



Рисунок 2.11 – Общий вид антенного поста комплекса «МАРЛ-А»

В комплексе «МАРЛ-А» реализовано «горячее резервирование» блоков за счет использования 64 маломощных приемно-передающих каналов, формирующих диаграмму направленности. Отказ даже 15-20% модулей не повлияет на функционирование комплекса. Изделие не содержит электровакуумных приборов и мощных полупроводников в выходных каскадах передатчиков, что тоже повышает надежность.



Конструкция АФАР и антенного поста в целом обеспечивает высокую ремонтпригодность, при необходимости блоки легко демонтируются и заменяются на исправные из состава ЗИП. Имеется необходимый набор инструментов и принадлежностей для обслуживания комплекса, включая высокоточный электронный уровень для контроля качества горизонтирования антенны. Широкое использование полупроводниковой микроэлектроники позволило существенно снизить энергопотребление комплекса, габариты комплекса, повысить надежность. Максимальная потребляемая мощность не превышает 500 Вт, что позволяет отказаться от использования в комплексе отдельной электростанции.

С поста оператора на станции при проведении зондирования осуществляется управление антенным постом, диагностика работоспособности комплекса и предпусковая проверка зондов. Пост оператора комплекса «МАРЛ-А» стационарный и находится в специальном помещении, соединяясь с антенным постом кабелями. В составе оборудования поста оператора находится ПК с установленным специальным программным обеспечением, система бесперебойного питания, а также распределительный щит включения питания и связи с антенным постом. Также туда входит и оборудование для передачи азротелеграмм (модем и телетайп). Программное обеспечение ПК имеет многопрофильную структуру и состоит из модулей обработки данных с бортового компьютера радиозонда, данных телеметрии, дальности, модуля управления двигателем, и интерфейсом. Интерфейс необходим для визуализации полученных данных и управления станцией. Для работы программы необходимо чтобы модули были запущены перед запуском оболочки с радиозондом. Окно программы представлено на рисунке 2.12.

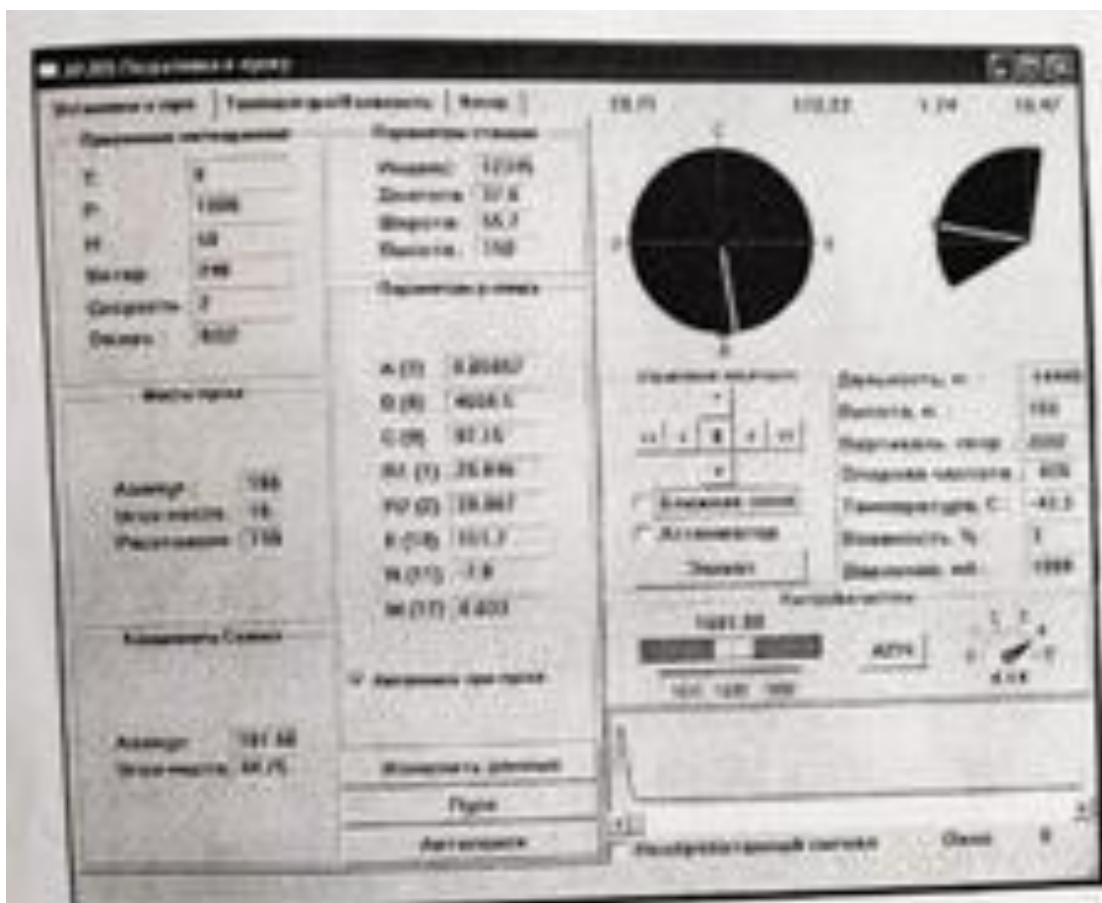


Рисунок 2.12 – Окно программы

Допускаемое значение дополнительной погрешности АРВК по приему и обработке сигналов радиозондов по каналу влажности не превышает 1%. Предел допускаемого значения дополнительной погрешности АРВК по приему и обработке сигналов радиозондов по каналу температуры не превышает 0.2°C. Для исключения потери радиозонда используется технология сопровождения радиозонда в ближней зоне, позволяющая непрерывно измерять координаты радиозонда во всей верхней полусфере вне зависимости от его места нахождения – запуск в режиме автопоиска с непрерывным вращением антенны. Автозахват зонда осуществляется на расстоянии не менее 200 км. Когда траектория зонда стабилизируется и его координаты перестанут быстро меняться, то автопоиск прекращается и станция начинает автоматическое сопровождение зонда, при этом сохраняются

данные о траектории полета. При наличии мешающих помех автопоиск работать не будет, то в таких случаях необходимо проводить пуски без автопоиска. Во время полета оператор может наблюдать графики данных телеметрии по показателям температуры воздуха, влажности и скорости ветра. При достижении зондом высоты, которая соответствует давлению 100 гПа, то выдается первая часть телеграмм КН-4. Полная телеграмма выдается, после того, как пуск закончен. Также телеграмму можно посмотреть во время пуска в окне программы «Telegramm». Аэрологические телеграммы создаются в специальном окне, изображенном на рисунке 2.13

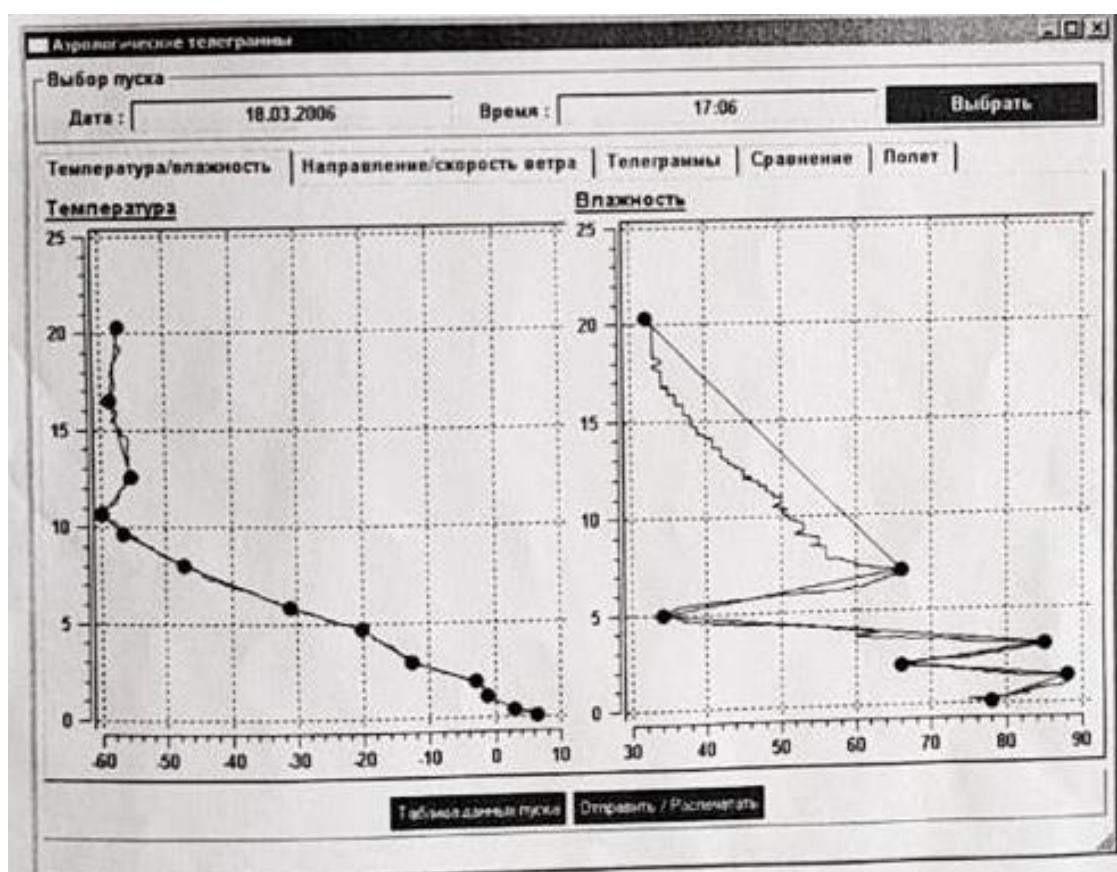


Рисунок 2.13 – Окно телеграммы

В этом окне отображаются профили зондирования, профиль температуры, влажности, направления и скорости ветра.

Комплекс «МАРЛ-А» обеспечивает в режиме передачи уровень импульсной эквивалентной изотропно излучаемой мощности не менее  $25 \cdot 10^3$  Вт в направлении излучения по нормали к плоскости раскрытия антенны, длительность импульса излучения 1 мкс.[11].

### 3 Тропопауза

Тропопауза - переходный слой в атмосфере, и служит своеобразной границей между тропосферой и стратосферой. Состояние тропопаузы - это отражение изменений в глобальном климате. Из-за происходящих изменений в климате актуальность вопроса анализа динамики тропопаузы является достаточно важной.[12].

Тропопауза является не только мощным сдерживающей преградой, препятствующей вертикальному переносу аэрозолей и пара, но и процесс переноса сквозь тропопаузу имеет огромное практическое значение. В связи с этим роль тропопаузы в процессе вертикального переноса всегда подвергается детальному анализу.

В зависимости от метеорологических и погодных переменных в каждый момент высота тропопаузы меняется. Например, она выше при наличии антициклонов в нижних слоях и ниже при депрессии или шторме. Температура меняется в зависимости от широты, на которой вы находитесь. В некоторых регионах температура составляет  $-85^{\circ}\text{C}$ , а в других  $-45^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, можно идентифицировать три различных состояния или три типа тропопаузы в зависимости от местности, в которой она находится, а также от широты и высоты:

- Тип 1 или нормальный – это тот, который имеет преимущественно стационарные ситуации. В тропосфере нет адвекции тепла или холода.
- Тип 2 или H ее еще называют высокой тропопаузой. Это тот, который сигнализирует, когда есть тип теплой адвекции в верхней и средней зоне тропосферы. Обычно это происходит при наличии теплых антициклонов.
- Тип 3 или S. Также известен как затонувший. Это соответствует случаю, когда адвекция холода возникает в верхних слоях тропосферы, а остальная часть формируется, когда в нижних слоях есть области низкого давления.[12]

Данные об изменении параметров тропопаузы имеет важное значение в системе меняющегося глобального климата, в особенности для арктического климата. Изменчивость высоты тропопаузы и колебания температуры атмосферы на ее уровне служат критериями динамики земного климата.[13]

В этой работе под тропопаузой понимается переходная граница слоев тропосферы и стратосферы, когда нижняя граница соответствует уменьшению вертикального градиента температуры до  $0,2^{\circ}\text{C}$  на 100 м или менее, который остается таким в вышележащем слое 2 км.[14].

#### 4 Анализ изменчивости параметров тропопаузы на территории Архангельской области за зимний период 2017-2022гг

В данной работе проанализирована динамика параметров тропопаузы в зимний период с 2017 по 2021 гг.. Были использованы данные радиозондирования на аэрологической станции Архангельска, которая находится южнее полярного круга. Для этого были изучены временные данные высоты нижней границы тропопаузы и температуры на этом уровне соответственно. В ситуациях, когда тропопауза была не одна, то для исследования выбиралась самая нижняя. Для данной станции была определена зависимость температуры и ее высота и определена взаимосвязь этих параметров методом линейной корреляции.

Учитываются значения аэрологических параметров на каждом изобарическом уровне и на соответствующей ей высоте, а также уровень тропопаузы и максимальная скорость ветра. В анализ включаются резкие изменения в вертикальном распределении значения температуры, влажности, скорости и направления ветра. Стандарт изобарических поверхностей принято считать следующие уровни: 1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20 и 10 гПа.

Критерий отбора особых точек определяется в возможности реконструирования вертикального профиля температуры с точностью до  $1^{\circ}\text{C}$  в тропосфере и до  $2^{\circ}\text{C}$  в стратосфере соответственно.

Измерение параметров температуры и влажности происходит с помощью датчиков. Скорость и направление ветра на разной высоте вычисляются по координатам. Данная информация измеряемых аэрологических параметров передается радиозондом с помощью радиосвязи на наземную аэрологическую станцию, на которой данные в виде специального кода передается в оперативные центры с помощью аэротелеграмм.

В данной работе были изучены параметры тропопаузы в зимний период (декабрь–февраль) с 2017 по 2022 г., что составило 2798 подъемов радиозондов на газонаполненной оболочке. Определялись вертикальные профили температуры и высоты в ночное время. В некоторых случаях данные радиозонда не были получены из-за отсутствия наблюдений или в связи с малой высоты подъема радиозонда.

На основе архивов аэрологической станций была составлена база данных о характеристиках тропопауз в зимний период времени с 2017 по 2022 г.

Расчеты показали, что высоты тропопаузы испытывают некоторые колебания в зависимости от конкретного года и месяца, что видно из таблицы 4.1 и рисунка 4.1.

Информация собиралась для каждого дня месяца и срока наблюдения. В результате был получен массив данных, на основе которых были исследованы временные вариации высоты тропопаузы и температуры для данной аэрологической станции. На рисунке 4.1 представлен график динамики параметров тропопаузы за зимний период 2021 г.

Таблица 4.1

Высота тропопаузы в зимний период 2017-2022 гг.

Высота, км	Год				
	2017	2018	2019	2020	2021
Максимальная	11,61	11,59	10,81	11,38	10,07
Минимальная	8,49	8,37	8,32	8,40	8,08
Средняя	9,85	9,81	9,42	10,03	9,29



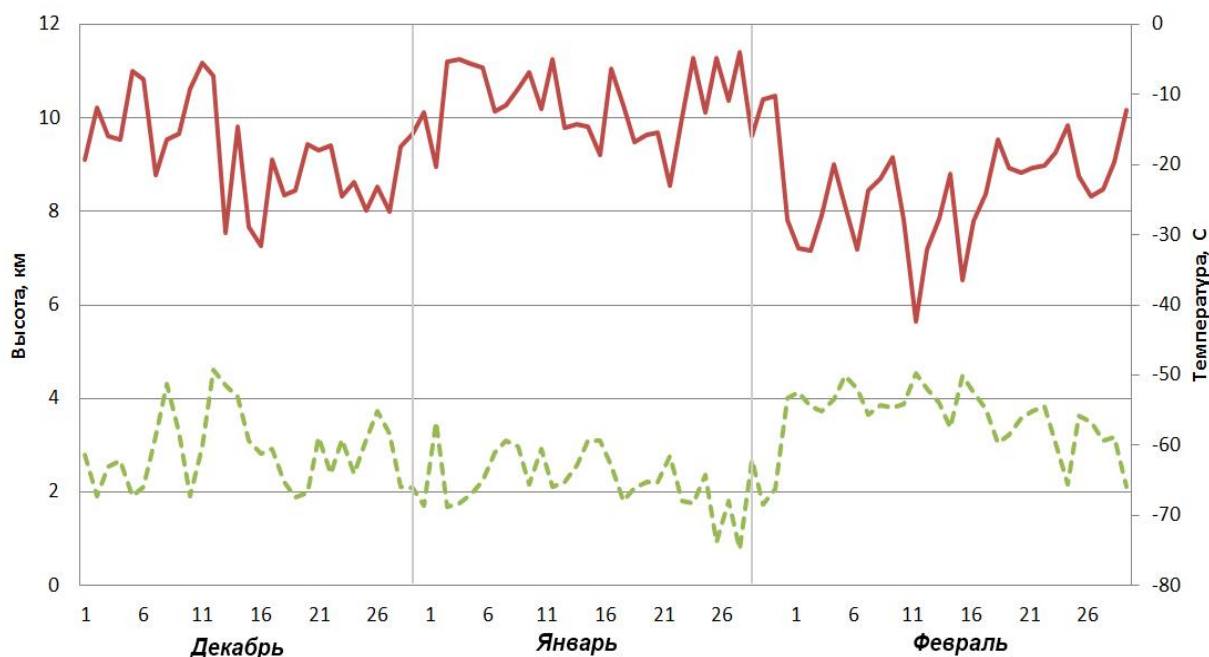


Рисунок 4.1 – Динамика высоты тропопаузы (сплошная линия) и температуры (пунктирная линия) на ее уровне в зимний период 2021г

Для аэрологической станции, которая находится в г. Архангельск, максимальная высота была выявлена в различные месяцы и изменялась в пределах от 10,07 до 11,61 км. Максимально высокая тропопауза выявлена в декабре 2017 года и составила 11,61 км с температурой  $-72^{\circ}\text{C}$ . Минимальная высота тропопаузы для данной станции изменялась в пределах от 8,08 до 8,49 км. Минимальная тропопауза была замечена в январе 2021 г на высоте 8,08 км с температурой  $-61,5^{\circ}\text{C}$ . Среднее значение высоты тропопаузы изменялась в пределах от 9,29 до 10,03 км.

В зимний период амплитуда изменений высоты тропопаузы варьировалась от 3,5 до 6 км. Увеличение и уменьшение толщины и высот тропопауз в зимний период зависят от менее интенсивного вертикального обмена, чем в летний период, это связано прежде всего с тем, что в связи с оттоком солнечной радиации от земной поверхности уменьшается турбулентный обмен до незначительных высот.

Нужно заметить, что динамика температуры за летний период зависит не только от физико-географических условий станции, но также и от высоты нижней границы тропопаузы (см. рис. 4.1, и табл.4.2).

Таблица 4.2

Температура на уровне тропопаузы за зимний период 2017-2021 гг.

Температура, °С	Год				
	2017	2018	2019	2020	2021
Максимальная	-31,2	-56,4	-51,0	-49,4	-54,1
Минимальная	-67,1	-72,6	-66,4	64,7	-66,7
Средняя	-56,1	-62,9	-58,0	-56,2	-60,5

Для тропопауз, наблюдаемых на данной аэрологической станции, максимальное значение температуры в пределах от -56,4 до -49,4°C. Минимальное значение варьируется в пределах от -72,6 до -64,7 °С. Изменение среднего значения температуры колебалось от -56,2 до -62,9 °С.

Анализ температуры атмосферы на нижней границе тропопаузы для данной станций показал, что существуют незначительные временные вариации температуры, амплитуда за данный период может достигать не более чем до 16,2 градусов.

Между температурой на нижней границе тропопаузы и ее высотой имеется наличие связи, которая стремится быть линейной при неизменности вертикального градиента температуры в тропосфере и при отсутствии инверсионных изотермических слоев. Данная взаимосвязь зависит и от таких факторов, как сезон, условия распределения температуры и высоты, температуры у поверхности земли, адвективных потоков у поверхности земли.

Была проанализирована и оценена взаимосвязь температуры воздуха на границе тропопаузы и соответствующей ей высоты в зимний период. Для сопоставления этих параметров тропопаузы были использованы имеющиеся

попарные данные для всех значений тропопауз. Для аэрологической станции было определено 2798 случаев, у которых была отмечена тропопауза. На основе этих данных был построен график корреляционной диаграммы взаимосвязи температуры и высоты тропопаузы (рис.4.2). По оси абсцисс отмечены значения температуры, по оси ординат – высоты нижних границ тропопаузы. По графику, изображенному на рисунке 4.2, мы видим, рассеяние точек на корреляционных диаграммах довольно велико. Это рассеяние отражает возможные факторы и условия, о которых сказано выше.

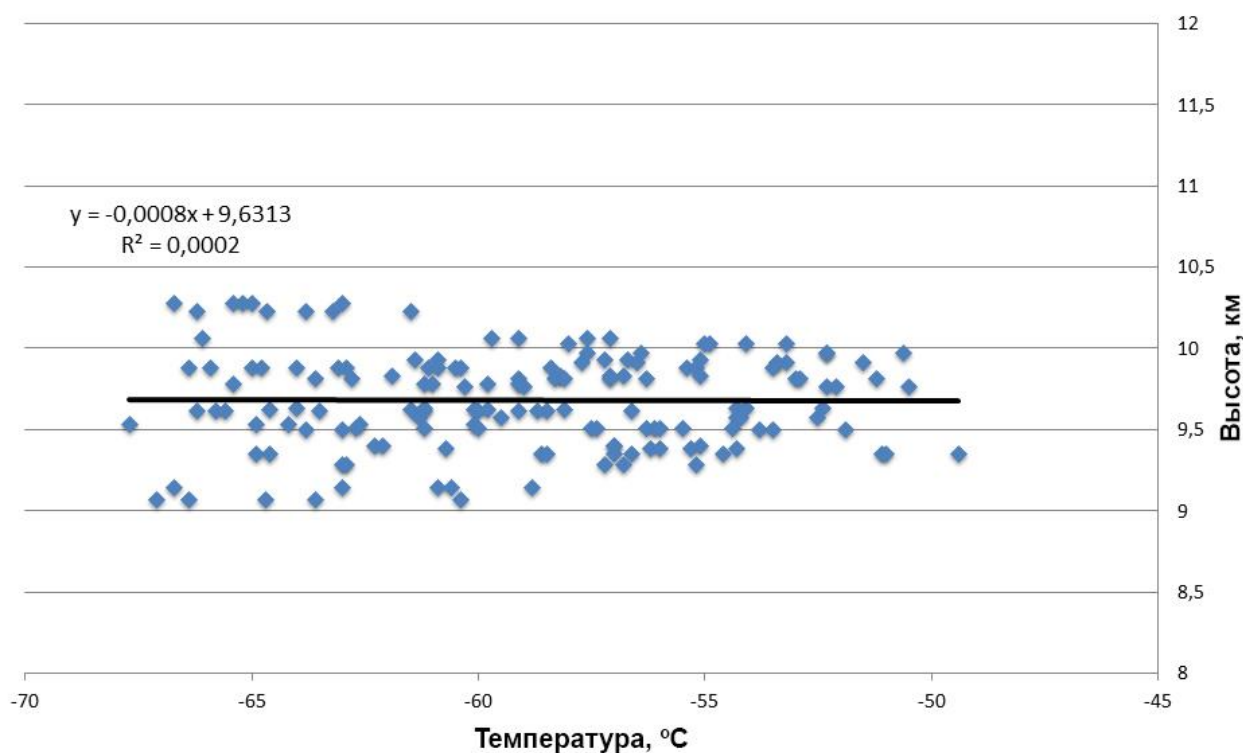


Рисунок 4.2 – Связь высоты тропопаузы и температуры на ее уровне за зимний период 2017-2022 гг

Проанализировав данные графика, изображенного на рисунке 4.2, найдено эмпирическое уравнение взаимосвязи параметров тропопаузы зимнего сезона за период с 2017 по 2021 гг, и оно имеет следующий вид:

$$t = - 0,005h + 9,6$$

где,  $t$  – температура воздуха на уровне нижней границы тропопаузы, °С  
 $h$  – высота нижней границы тропопаузы, м.

## Заключение

В ходе выполнения данной выпускной квалификационной работы были выполнены все поставленные задачи:

- подробно описан исследуемый регион, с возможными географическими и климатическими особенностями;
- детально описана аэрологическая станция в выбранном регионе и ее техническое оснащение;
- подготовлен архив радиозондирования на аэрологической станции г. Архангельск за зимний период времени с 2017 по 2022 г;
- проведено исследование и анализ изменчивости характеристик тропопаузы в зимние периоды 2017–2021 гг. по данным радиозондирования на аэрологической станции, расположенной в городе Архангельск. Данные комплектовались для каждого дня месяца, срока наблюдения и включала высоту и температуру на уровне тропопаузы;
- построены и проанализированы графики показателей тропопаузы
- выявлена и проанализирована связь высоты и температуры на уровне тропопаузы;
- найдено эмпирическое уравнение взаимосвязи параметров тропопаузы зимнего сезона за период с 2017 по 2021 гг.

В ходе работы было выявлено, что имеется зависимость от особенностей распределения температуры в тропосфере, вертикального градиента температуры и значения высоты нижней границы тропопаузы, температура которых на ее уровне может сильно изменяться. Чем ниже находится тропопауза, тем выше значения температуры на ее уровне.

## Список использованных источников

1 Хргиан А. Х., Физика атмосферы, М., 1969; Хвостиков И. А., Высокие слои атмосферы, Л., 1964; Пинус Н. З., Шметер С. М., Аэрология, ч. 2, Физика свободной атмосферы, Л., 1965; Матвеев Л. Т., Основы общей метеорологии (физика атмосферы), Л., 1965.

2 Зондирование атмосферы: учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по направлению 05.03.05 Прикладная гидрометеорология / М.Ю. Червяков. – Саратов: ИЦ «Наука», 2019.

3 Геоморфология европейской части СССР. Учеб, пособие для студентов-географов университетов.— М., Высш, школа, 1978. с.72

4 Глобальные климатические изменения : региональные эффекты, модели, прогнозы: Материалы международной научно-практической конференции (г. Воронеж, 3-5 октября 2019г.) / Под общ.редакцией С.А. Куролапа, Л.М. Акимова, В.А. Дмитриевой. – Воронеж: Издательство «Цифровая полиграфия», 2019. – Том 1. – 532 с.

5 Проблемы обеспечения экологической безопасности и устойчивое развитие арктических территорий: сборник материалов Всероссийской конференции с международным участием II Юдахинские чтения / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральское отделение Российской академии наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова РАН, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», Правительство Архангельской области; отв. ред. д.б.н. И.Н. Болотов. – Архангельск, 2019. – 688с.

6 Клиновский А.Б., З.Н. Пинус.Аэрология. Методы аэрологических измерений. Гидрометеорологическое издательство. Л.-1961, С. 23–36

7 436331.001РЭ Инструкция по эксплуатации Радиозонда малогабаритного МРЗ-3МК.

8 А. А. Иванов, канд. физ.-мат. наук (руководитель разработки), Н. А. Зайцева, канд. геогр. наук (ответственный исполнитель), А. С. Азаров, канд. техн. наук, В. Н. Арбузова, А. М. Балагуров, канд. физ.-мат. наук, А. П. Кац, Г. В. Коротин, С. А. Кочеров, канд. техн. наук, А. В. Кочин, канд. техн. наук, Н. Ф. Пальмова, И. Г. Потемкин, канд. техн. наук, Е. С. Чернушкина Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3. Часть 1., Метеорологические наблюдения на станциях., Гидрометеорологическое издательство – Л., 1969.

9 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Метеорологические наблюдения на станциях. Часть 1. Метеорологические наблюдения на станциях. — Л.: Гидрометеиздат, 1985.

10 28 Перечень гидрометеорологических приборов, подлежащих хранению в органах гидрометеорологической службы и не входящих в 310 РД 52.11.650—2003 состав гидрометфонда СССР. Утвержден ГУГМС 17.04.75. — М.: Гидрометеиздат, 1977.

11 Радиолокационный комплекс «МАРЛ-А». Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ПБА2.330.002 ТО

12 Бедрицкий А. И. Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь : в 3 т. СПб. ; М.: Летний сад, 2009. Т. 3. 216 с.

13 Иванова А. Р. Тропопауза – многообразие определений и современные подходы к идентификации // Метеорология и гидрология. 2013. № 12. С. 23–36

14 Червяков М. Ю. Межгодовая изменчивость поглощенной солнечной радиации и альbedo в арктическом регионе // Молодежь. Наука. Инновации : сб. докл. 64-й междунар. молодеж. науч.-техн. конф. : в 2 т. Владивосток : Морской государственный университет, 2016. Т. 1. С. 524–528.