



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

Кафедра МКОА
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Исследования динамики климатических показателей Арктики в
условиях изменения климата»

Исполнитель Уварова Елизавета Алексеевна
(фамилия, имя, отчество)

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

Мханна Ааед Исмаил Назир
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

Исполняющий обязанности
(ученая степень, ученое звание)

Дробжева Яна Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

« 06 » июня 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

ЗАВЕДУЮЩИЙ КАФЕДРОЙ.....	1
ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА	4
1.1 Географическое положение и границы Мурманской области.....	6
1.2 Рельефы и геология	9
1.3 Гидрография	11
1.4 Климатические условия	14
ГЛАВА 2. ПРОБЛЕМЫ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ.....	16
2.1 Современное состояние климата Арктики	17
2.2 Влияние изменения климата на гидрологические и ледовые условия	19
2.3 Меры по адаптации и смягчению климатических изменений.....	20
ГЛАВА 3. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ МУРМАНСКУЮ ОБЛАСТЬ	23
3.1 Температура.....	23
3.2 Влажность	25
3.3 Осадки	27
ГЛАВА 4. ДИНАМИКА КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АРКТИКИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА	29
4.1 Исследование температуры Мурманской области.....	29
4.2 Исследование сезонной температуры за период с 1936 по 2023 год.....	31
4.3 Исследование осадков в Мурманской области.	41
4.4 Исследование сезонных осадков в Мурманской области.	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	54
ЛИТЕРАТУРА.....	55

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. В современном мире над нашей планетой повисла большая экологическая проблема — это проблема глобального потепления. На планете жизнь процветает около 4 миллиардов лет и за всё это время колебания климата были весьма радикальными. Потепление климата и его последствия в разных регионах сказывается по-разному, но сильнее всего изменение климата проявляется в Арктике. Морской ледяной покров в Арктике играет очень важную роль в климатической системе планеты. Повышение температуры климата в данном регионе приводит к отступлению ледников, таянию вечной мерзлоты и льдов.

Объект исследования: Климат Арктики.

Предмет исследования: Изменение характеристик климатических показателей в Арктике в условиях потепления климата.

Цель исследования: изучение климатической динамики Арктического региона.

Задачи исследования:

- Рассмотреть физико-географическую характеристику Арктического региона;
- Определить основные факторы, метеорологические параметры, которые определяют климат в Мурманской области: температура и влажность воздуха, давление, ветер и осадки.

Методы исследования: изучение и анализ научной литературы, систематизация и обобщение, картографический.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

Арктический регион представляет собой обширную область, расположенную на крайнем севере Земли, которая включает территории, находящиеся к северу от Полярного круга ($66,5^{\circ}$ северной широты). Этот регион охватывает значительные части восьми стран: России, Канады, Норвегии, Дании (Гренландия), Исландии, Швеции, Финляндии и США (Аляска). Арктика характеризуется уникальными природными и климатическими условиями, которые оказывают существенное влияние на глобальную климатическую систему.

Географическое положение и климат

Арктика занимает около 14 миллионов квадратных километров, из которых значительная часть покрыта морским льдом, особенно в зимние месяцы. Климатические условия здесь крайне суровые: зимние температуры могут опускаться до -40°C и ниже, а летом температура редко поднимается выше $+10^{\circ}\text{C}$. Основные климатические особенности Арктики включают:

Полярный день и ночь: в течение полярной ночи (зимой) солнце не поднимается над горизонтом в течение нескольких месяцев, тогда как во время полярного дня (летом) солнце не заходит за горизонт.

Низкие температуры: Среднегодовая температура в Арктике значительно ниже нуля, что ведет к постоянному наличию ледяного покрова.

Высокая изменчивость осадков: Осадки в Арктике распределены неравномерно, с максимальными значениями в прибрежных районах и минимальными — в центральных частях региона.

Влияние на глобальный климат

Арктика играет ключевую роль в глобальной климатической системе.

Основные механизмы воздействия включают:

Альbedo: Высокая отражательная способность льда и снега способствует охлаждению планеты, отражая значительную часть солнечной радиации.

Ледообразование и таяние: Процессы образования и таяния льда влияют на морские и атмосферные циркуляции, что, в свою очередь, влияет на климатические условия по всему миру.

Метановые гидраты: В арктических почвах содержится большое количество метана в виде гидратов. При потеплении они могут высвобождаться в атмосферу, усиливая парниковый эффект.

Гидрография и ледовый режим

Арктическая гидрографическая система включает многочисленные реки, озера и моря. Основные реки, такие как Обь, Енисей и Лена, впадают в Северный Ледовитый океан, обеспечивая значительный приток пресной воды. Ледовый режим Арктики характеризуется сезонными изменениями:

Морской лед: зимой площадь морского льда достигает максимума, покрывая почти весь Северный Ледовитый океан. Летом лед тает, сокращая свою площадь.

Речные и озерные системы: Арктические реки и озера также подвержены сезонным изменениям, с ледоставом зимой и паводками весной и летом.

Текущие изменения и исследовательские задачи

Климат Арктики подвержен значительным изменениям вследствие глобального потепления. Наблюдается сокращение площади морского льда, повышение температуры и увеличение осадков. Эти изменения имеют важные последствия для глобальной климатической системы, экосистем

человеческой деятельности в регионе. Основные задачи для метеорологов включают:

Мониторинг климатических изменений: Регулярные наблюдения и анализ данных для понимания текущих тенденций и их последствий.

Моделирование климатических процессов: Создание и усовершенствование климатических моделей для прогнозирования будущих изменений.

Исследование взаимосвязей: Изучение взаимодействий между атмосферой, гидросферой и криосферой для более точного понимания климатической системы Арктики.



Рисунок 1.1. Границы Арктического региона

1.1 Географическое положение и границы Мурманской области

Географические координаты

Мурманская область расположена на Кольском полуострове в северо-западной части России. Географические координаты региона простираются от 68° до 70° северной широты и от 28° до 41° восточной долготы. Центральная часть области находится приблизительно на 69° с.ш. и 33° в.д.

Благодаря своему северному расположению, Мурманская область характеризуется полярными днями и ночами: летом солнце не заходит за горизонт на протяжении нескольких недель, а зимой наступает полярная ночь, когда солнце не поднимается над горизонтом.

Границы

Мурманская область имеет общую площадь около 144 тысяч квадратных километров и граничит со следующими территориями:

На северо-западе: Граница с Норвегией протяженностью около 196 км. Эта граница проходит через труднодоступные и малонаселенные районы, что делает её относительно стабильной и легко контролируемой.

На востоке: Мурманская область граничит с Архангельской областью. Эта граница проходит через тундровые и лесотундровые зоны, которые также малонаселены.

На юге: Граница с Республикой Карелия. Здесь находятся лесные массивы и озера, что создает разнообразные ландшафтные условия.

Северная граница области протекает вдоль побережья Баренцева моря, которое является частью Северного Ледовитого океана. Баренцево море играет важную роль в климате региона, так как его теплые течения способствуют тому, что некоторые порты, такие как Мурманск, остаются незамерзающими в течение всего года. Этот фактор имеет большое значение для транспортной и военной инфраструктуры России.



Рисунок 1.2. Физическая карта Мурманской области.

Важные географические объекты

Кольский полуостров: Основная часть территории области, характеризуется разнообразным рельефом от низменностей до горных массивов.

Горный массив Хибин: Крупнейший горный массив области, высота которого достигает 1200 метров. Хибин являются важным объектом для научных исследований и туризма.

Печенгская долина: Природный коридор, соединяющий внутренние районы с побережьем Баренцева моря.

Реки и озера: Основные реки включают Печенгу, Колу и Варзугу, которые играют ключевую роль в гидрологической системе региона.

Климатические особенности

Мурманская область находится в зоне субарктического климата, который характеризуется длительными холодными зимами и коротким прохладным летом. Средняя температура января колеблется от -10°C до $-$

15°C, а июля – от +10°C до +15°C. Регион получает значительное количество осадков, преимущественно в виде снега зимой. Баренцево море оказывает смягчающее влияние на климат прибрежных районов, обеспечивая относительно мягкие зимы и прохладное лето.

Экономическое и стратегическое значение

Мурманская область имеет важное экономическое и стратегическое значение для России. Город Мурманск, расположенный на побережье Баренцева моря, является крупнейшим портом за Полярным кругом и одним из ключевых транспортных узлов для арктических экспедиций и добычи полезных ископаемых. Регион также является центром рыболовства и морского транспорта.

1.2 Рельефы и геология

Мурманская область обладает разнообразным рельефом, включающим как горные массивы, так и равнины. Основные формы рельефа включают:

Горные массивы: Крупнейший и наиболее известный горный массив области – это Хибины, расположенные в центральной части Кольского полуострова. Хибины характеризуются высокими вершинами, достигающими 1200 метров, и крутыми склонами. Они являются важным объектом для научных исследований, туризма и горнолыжного спорта. Еще одним значимым горным массивом являются Ловозерские тундры, которые находятся восточнее Хибин и имеют схожий рельеф, но несколько меньшие высоты.

Равнины и низменности: Северная часть области, прилегающая к Баренцеву морю, характеризуется низменным рельефом с обширными равнинами и тундровыми участками. Здесь преобладают мягкие очертания

ландшафта и многочисленные озера, что создает условия для формирования болот и влажных тундровых экосистем.

Речные долины и озера: В Мурманской области протекает множество рек, таких как Кола, Тулома и Варзуга. Эти реки образуют глубокие долины и часто сопровождаются озерами ледникового происхождения, такими как Имандра и Ловозеро. Вдоль рек и озер можно наблюдать как скалистые, так и плавные береговые линии.

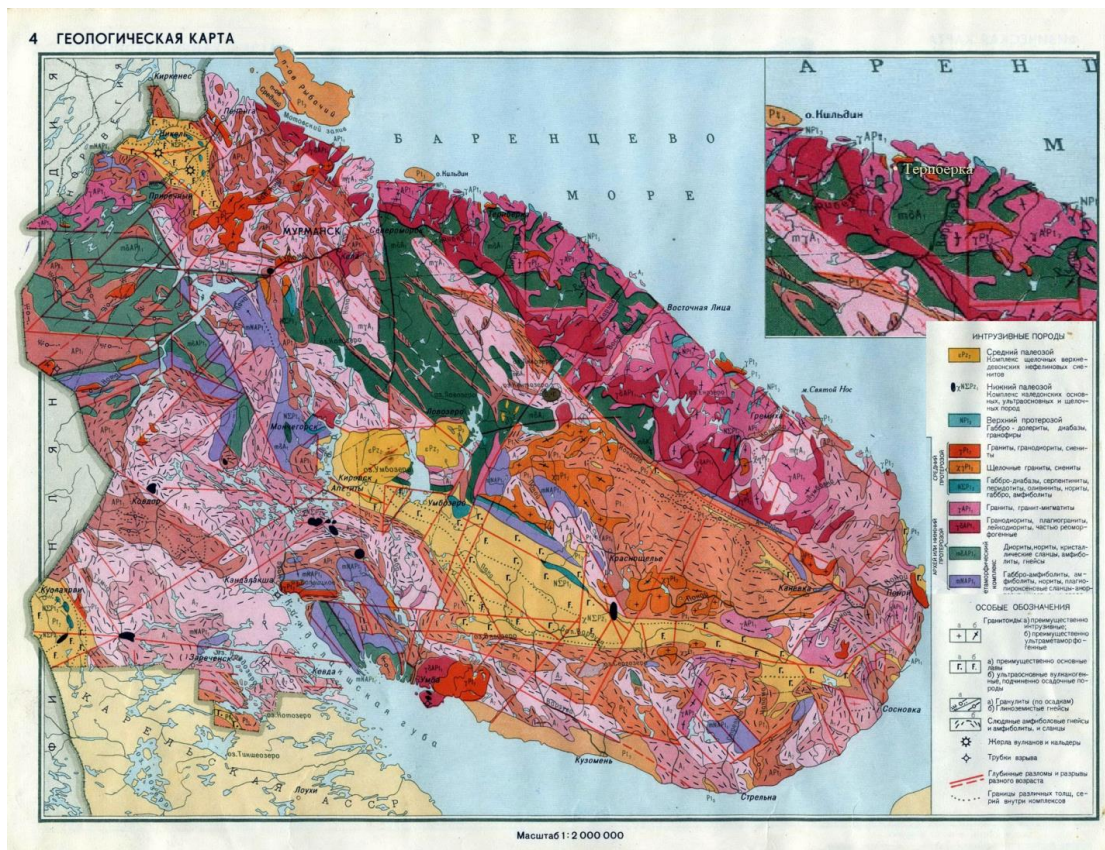


Рисунок 1.3. Геологическая карта Мурманской области.

Геологическое строение: Основные типы горных пород, тектоника

Геологическое строение Мурманской области формировалось на протяжении миллиарда лет и включает древние кристаллические породы, сложные тектонические структуры и многочисленные следы ледниковой деятельности.

Кристаллические породы: Основу геологического строения области составляют архейские и протерозойские кристаллические породы, такие как граниты, гнейсы и сланцы. Эти породы формируют устойчивый фундамент,

на котором развиваются современные геологические процессы. Граниты и гнейсы часто обнажаются в виде скал и каменных россыпей, особенно в горных районах.

Тектонические структуры: Мурманская область расположена на Балтийском щите, который является одной из древнейших тектонических структур Земли. Здесь можно наблюдать многочисленные разломы, складки и другие тектонические элементы, сформированные в результате длительных геологических процессов. Тектонические движения в регионе были связаны с формированием древних горных массивов и последующими эрозионными процессами.

Ледниковая деятельность: Значительное влияние на рельеф области оказали ледниковые процессы. В течение последних ледниковых периодов территория Мурманской области была покрыта мощным ледниковым покровом, который формировал долины, морены и озёра. Следы ледниковой эрозии и аккумуляции хорошо видны в современных ландшафтах.

Минеральные ресурсы: Область богата минеральными ресурсами, включая апатиты, нефелиновые руды, медь, никель и редкоземельные элементы. Добыча этих полезных ископаемых играет важную роль в экономике региона и определяет значительную часть промышленной деятельности. [1].

1.3 Гидрография

Реки и озера: Основные водоемы, их гидрологические характеристики

Мурманская область обладает густой сетью рек и озер, которые играют важную роль в экосистеме и хозяйственной деятельности региона. Водные ресурсы области включают многочисленные реки, озера и водохранилища.



Рисунок 1.4. Карта водных ресурсов Мурманской области.

Реки: Главные реки Мурманской области включают:

Кола: Одна из крупнейших рек региона, длиной около 83 км. Река Кола берет начало в Ловозерских тундрах и впадает в Кольский залив Баренцева моря. Река обладает быстрым течением и значительными гидроэнергетическими ресурсами.

Тулوما: Длина реки составляет около 64 км. Она берет начало в озере Нижнее Ловозеро и также впадает в Кольский залив. Тулома имеет важное значение для гидроэнергетики, на ней построены несколько гидроэлектростанций.

Озера: Крупнейшие озера области включают:

Имандра: Крупнейшее озеро региона, площадью около 876 квадратных километров. Оно разделено на три больших залива – Большая Имандра, Бабинская Имандра и Еланская Имандра. Озеро имеет ледниковое происхождение и служит важным источником пресной воды для местного населения и промышленности.

Ловозеро: Второе по величине озеро, площадью около 200 квадратных километров. Озеро также имеет ледниковое происхождение и является популярным местом для рыбалки и отдыха.

Морское побережье: Описание прибрежной зоны Баренцева моря, ледовый режим

Мурманская область обладает протяженной береговой линией, выходящей к Баренцеву морю, которое является частью Северного Ледовитого океана. Прибрежная зона Баренцева моря отличается высокой сложностью и разнообразием ландшафтов, включая скалистые берега, бухты и заливы.

Прибрежные зоны: наиболее значимые прибрежные зоны включают:

Кольский залив: Важный морской путь и место расположения крупнейшего незамерзающего порта России – города Мурманска. Залив обладает значительными глубинами и защищен от сильных волнений, что делает его удобным для судоходства.

Териберский берег: Расположен на востоке области и характеризуется крутыми скалистыми берегами и небольшими рыбацкими поселками. Териберка известна своими красивыми природными ландшафтами и историческими памятниками. [1].

Ледовый режим: Баренцево море отличается сравнительно мягким ледовым режимом по сравнению с другими арктическими морями. Основные характеристики включают:

Незамерзающие участки: Благодаря теплоте Северо-Атлантического течения, западные и центральные части Баренцева моря остаются незамерзающими в течение всего года. Это позволяет осуществлять круглогодичное судоходство и рыбный промысел.

Сезонный лед: В восточных и северо-восточных районах моря образуется сезонный лед, который обычно достигает максимального распространения в феврале-марте и тает в июне-июле.

1.4 Климатические условия

Мурманская область характеризуется суровым субарктическим климатом, который формируется под воздействием Арктического океана и Северо-Атлантического течения. Климатические условия региона оказывают значительное влияние на его экологию, экономику и повседневную жизнь населения.

Температура: Среднегодовая температура в Мурманской области варьируется в пределах от -1°C до -3°C . Зимние температуры обычно опускаются до -10°C и ниже, достигая в некоторых районах -30°C . Летом средняя температура колеблется от $+10^{\circ}\text{C}$ до $+15^{\circ}\text{C}$, что делает лето коротким и прохладным. Самые холодные месяцы – январь и февраль, а самые теплые – июль и август.

Осадки: Мурманская область получает значительное количество осадков, в среднем от 600 до 1000 мм в год, причем большая часть осадков выпадает в виде снега. Осадки распределены неравномерно, с максимальными значениями в прибрежных районах и минимальными – в центральных и восточных частях области. Наибольшее количество осадков выпадает в весенне-летний период, а наименьшее – в осенне-зимний.

Ветровой режим: Ветровые условия в регионе зависят от взаимодействия арктических и атлантических воздушных масс. Преобладающие ветры – западные и северо-западные. Скорость ветра может достигать 15-20 м/с, особенно в прибрежных районах и на возвышенностях. Зимой нередки сильные метели и бури, которые значительно усложняют жизнедеятельность в регионе.

Сезонные изменения: Особенности зимы и лета, межсезонные переходы

Мурманская область характеризуется выраженными сезонными изменениями, которые существенно влияют на климатические условия и природные процессы.

Зима: Зимний период в Мурманской области длится с ноября по апрель. Зимой преобладают низкие температуры и значительные снегопады. Особенностью зимнего сезона является полярная ночь, когда солнце не поднимается над горизонтом в течение нескольких недель. В это время характерны сильные морозы, метели и снегопады, что создает сложные условия для транспортной и хозяйственной деятельности. Толщина снежного покрова достигает максимальных значений в феврале-марте и может превышать 1 метр.

Лето: Летний период длится с июня по август. Лето в Мурманской области короткое и прохладное, со средними температурами от $+10^{\circ}\text{C}$ до $+15^{\circ}\text{C}$. В этот период наблюдается полярный день, когда солнце не заходит за горизонт, обеспечивая длительное освещение. Лето характеризуется частыми дождями, но общая сумма осадков меньше, чем зимой. В это время происходит активное таяние снега и льда, повышение уровня рек и озер.

Межсезонные переходы: Весна и осень в Мурманской области короткие и резкие. Весенний период начинается в мае, когда начинается активное таяние снега и льда, что приводит к паводкам на реках. Осень наступает в сентябре и характеризуется быстрым снижением температуры и увеличением осадков, преимущественно в виде дождя. В октябре начинается переход к зимним условиям с первыми снегопадами и заморозками.

Климатические условия Мурманской области обусловлены ее северным расположением и близостью к Арктическому океану. Суровые зимы, прохладное лето и выраженные сезонные изменения создают уникальные природные условия, которые оказывают влияние на все аспекты жизни в регионе. Понимание этих климатических характеристик является ключевым для метеорологических исследований и прогнозирования климатических изменений в Арктике.

ГЛАВА 2. ПРОБЛЕМЫ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ

Арктический регион, включая Мурманскую область, сталкивается с рядом уникальных и серьезных проблем, обусловленных его географическими и климатическими особенностями. В условиях изменяющегося климата эти проблемы становятся еще более актуальными, затрагивая как природные экосистемы, так и социально-экономическую сферу. Изменения температуры, осадков и ледового покрова влияют на природные ресурсы, транспортную инфраструктуру и жизнедеятельность населения. Понимание и решение этих проблем требует комплексного подхода и тесного взаимодействия между научным сообществом, государственными органами и местными сообществами.

Ключевые проблемы, с которыми сталкиваются арктические регионы, включают:

1. Климатические изменения: Арктика нагревается быстрее, чем другие регионы планеты, что приводит к сокращению ледового покрова, повышению уровня моря и изменению погодных условий.
2. Экологические последствия: Потепление климата и таяние льдов оказывают влияние на экосистемы, приводя к изменению видов флоры и фауны, а также к нарушению природных циклов.
3. Социально-экономические вызовы: Изменения в природной среде воздействуют на традиционные виды деятельности коренных народов, промышленное рыболовство, добычу полезных ископаемых и транспортные маршруты.
4. Инфраструктурные проблемы: Оттаивание вечной мерзлоты и изменение ледового режима оказывают негативное влияние на стабильность зданий, дорог и других объектов инфраструктуры.

5. Адаптация и смягчение последствий: Необходимость разработки и внедрения мер, направленных на адаптацию к новым климатическим условиям и смягчение негативных последствий изменения климата.

Решение этих проблем требует глубокого анализа и междисциплинарных исследований, что делает роль метеорологов и климатологов ключевой в этом процессе. В следующих разделах этой главы будут рассмотрены основные аспекты климатических изменений в Арктике, их влияние на природные и социально-экономические системы, а также меры, принимаемые для адаптации и смягчения последствий этих изменений.

2.1 Современное состояние климата Арктики

В последние десятилетия Арктический регион демонстрирует явные признаки климатических изменений, что выражается в значительном потеплении. Этот процесс, известный как "арктическое усиление", характеризуется более быстрым ростом температуры по сравнению с глобальными средними показателями. Согласно данным, собранным за последние 30 лет, среднегодовая температура в Арктике увеличилась примерно на 2-3°C, что в два раза превышает темпы глобального потепления.

Анализ данных о температуре в Мурманске показывает, что зимние температуры, как правило, повышаются быстрее летних. Например, в период с 1936 по 2023 годы средняя температура февраля повысилась на 1,5-2°C, а средняя температура июля – на 0,5-1°C. Это изменение температуры оказывает существенное влияние на продолжительность зимнего сезона, время замерзания и таяния льдов, а также на состояние вечной мерзлоты.

Изменения в осадках и ледовом режиме также являются важными аспектами климатических изменений в Арктике. В последние десятилетия наблюдается увеличение суммарных осадков в регионе, особенно в зимний период. Это связано с более интенсивными атмосферными процессами и увеличением содержания влаги в атмосфере из-за потепления.

Осадки: Данные по осадкам в Мурманске указывают на рост их количества, особенно зимой. Среднее количество осадков в зимние месяцы увеличилось на 10-20%, что приводит к большему накоплению снега. Весной это вызывает более интенсивное таяние и увеличение стока рек, что может привести к паводкам.

Ледовый режим: Ледовый покров Арктики демонстрирует устойчивую тенденцию к сокращению. Максимальная площадь морского льда, достигаемая в марте, и минимальная площадь, наблюдаемая в сентябре, показывают снижение на 10-15% за последние три десятилетия. В Мурманской области это выражается в более позднем замерзании и раннем таянии рек и озер, а также в уменьшении толщины ледового покрова.

Эти изменения оказывают значительное влияние на гидрологический цикл в регионе. Увеличение осадков и изменения в ледовом режиме приводят к изменению режима рек и озер, повышению уровня воды, увеличению продолжительности вегетационного периода, а также к более частым и интенсивным паводкам.

Климатические изменения в Арктике, включая повышение температуры, увеличение осадков и сокращение ледового покрова, оказывают значительное влияние на природные и социально-экономические системы региона. Эти изменения требуют постоянного мониторинга и анализа для разработки эффективных стратегий адаптации и смягчения последствий, что делает роль метеорологов и климатологов крайне важной.

2.2 Влияние изменения климата на гидрологические и ледовые условия

Климатические изменения оказывают существенное влияние на гидрологические условия арктического региона, в том числе на реки, озера и морские акватории.

Реки: Повышение температуры и увеличение осадков в зимний период ведут к увеличению стока рек весной из-за интенсивного таяния снега. В Мурманской области это приводит к увеличению объема паводков, что может вызывать затопления и эрозию берегов. Изменение режима стока рек также влияет на биологические циклы водных организмов и экосистемы в целом.

Озера: Повышение температуры воздуха и изменение режима осадков влияют на термический и гидрологический режимы озер. Летний период стратификации озер удлиняется, что может привести к изменению состава и распределения водных масс, а также к изменениям в химическом составе воды. В Мурманской области озера, такие как Имандра и Ловозеро, подвержены этим изменениям, что влияет на их экосистемы и ресурсы пресной воды.

Морские акватории: Изменения климата влияют и на прибрежные морские акватории. Потепление воды и увеличение речного стока с материка приводят к изменениям в солености и температуре морской воды, что оказывает влияние на морские экосистемы. В Баренцевом море, омывающем Мурманскую область, наблюдаются изменения в распространении морского льда, а также в структуре и динамике морских экосистем.

Изменения в ледовом режиме являются одним из наиболее очевидных проявлений климатических изменений в Арктике.

Изменение площади ледового покрова: За последние десятилетия площадь морского льда в Арктике существенно сократилась. Максимальная

площадь морского льда, наблюдаемая в марте, и минимальная, наблюдаемая в сентябре, демонстрируют устойчивую тенденцию к уменьшению. Это приводит к увеличению продолжительности ледового периода с более поздним началом замерзания и более ранним началом таяния льдов.

Толщина льда: Толщина льда также уменьшается. В Мурманской области, особенно в прибрежных зонах Баренцева моря, снижение толщины льда делает его менее стабильным и устойчивым к механическим воздействиям. Это особенно важно для обеспечения безопасности судоходства и морских операций.

Продолжительность ледового периода: Продолжительность ледового периода сокращается. Внутренние водоемы, такие как реки и озера, замерзают позже и вскрываются раньше. Это оказывает влияние на традиционные виды деятельности, такие как зимняя рыбалка и использование ледовых дорог. В Мурманской области сокращение ледового периода влияет на транспортные маршруты и логистику, особенно в отдаленных районах.

Климатические изменения в Арктике приводят к значительным изменениям в гидрологических и ледовых условиях. Эти изменения оказывают влияние на экосистемы, водные ресурсы и хозяйственную деятельность региона. Понимание и мониторинг этих процессов являются ключевыми для разработки адаптационных мер и обеспечения устойчивого развития арктических территорий.

2.3 Меры по адаптации и смягчению климатических изменений

Адаптация к климатическим изменениям в арктических регионах, таких как Мурманская область, требует комплексного подхода и включает в себя разнообразные стратегии и мероприятия. Цель адаптационных мер — уменьшить уязвимость экосистем и сообществ, а также повысить их устойчивость к изменениям климата.

Разработка и реализация планов адаптации: Включает создание региональных и местных планов адаптации, которые учитывают специфические климатические риски и уязвимости. Эти планы должны включать меры по защите инфраструктуры, обеспечению водных ресурсов и управлению природными рисками.

Улучшение инфраструктуры: Адаптация инфраструктуры к новым климатическим условиям включает укрепление зданий и дорог, строительство защитных сооружений, таких как дамбы и барьеры, а также модернизацию систем водоснабжения и водоотведения. [2].

Защита экосистем: Мероприятия по сохранению и восстановлению экосистем, которые играют важную роль в адаптации к изменениям климата. Это может включать защиту прибрежных зон, восстановление болот и лесов, а также создание природных резервуаров для управления паводками.

Мониторинг и прогнозирование: Развитие систем мониторинга и прогнозирования климатических изменений и их воздействия на регион. Это позволяет своевременно выявлять и реагировать на климатические угрозы, такие как наводнения, засухи и сильные ветра.

Образование и повышение осведомленности: Обучение и информирование местного населения о климатических рисках и мерах адаптации. Вовлечение сообществ в процесс адаптации способствует более эффективному внедрению мер и повышению устойчивости на местном уровне.

Меры по смягчению климатических изменений направлены на снижение выбросов парниковых газов и замедление темпов глобального потепления. Эти меры включают различные программы и проекты, реализуемые на региональном, национальном и международном уровнях.

Развитие возобновляемых источников энергии: Увеличение доли возобновляемых источников энергии, таких как ветровая, солнечная и гидроэнергетика, в энергобалансе региона. В Мурманской области

потенциал ветровой и гидроэнергетики может быть использован для снижения зависимости от ископаемых видов топлива.

Энергоэффективность и энергосбережение: Реализация программ по повышению энергоэффективности зданий и промышленности, что включает утепление зданий, модернизацию систем отопления и освещения, а также внедрение технологий энергосбережения.

Снижение выбросов в промышленности: Внедрение новых технологий и модернизация существующих производств для снижения выбросов парниковых газов. Это может включать улавливание и хранение углекислого газа, переход на более чистые виды топлива и оптимизацию производственных процессов.

Лесовосстановление и защита лесов: Лесовосстановительные проекты и меры по защите существующих лесов играют важную роль в поглощении углекислого газа и стабилизации климата. Восстановление деградированных земель и лесонасаждения также способствует улучшению экосистемных услуг. [2].

Международное сотрудничество: Участие в международных соглашениях и инициативах по борьбе с изменением климата, таких как Парижское соглашение. Сотрудничество с международными организациями и другими странами позволяет обмениваться опытом, технологиями и ресурсами для эффективной реализации мер по смягчению.

Адаптация к климатическим изменениям и смягчение их последствий являются важнейшими задачами для арктических регионов, включая Мурманскую область. Комплексный подход, включающий разработку и реализацию адаптационных мер, а также внедрение программ по снижению выбросов парниковых газов, позволяет повысить устойчивость экосистем и сообществ к меняющимся климатическим условиям. Эффективное сотрудничество на всех уровнях и вовлечение всех заинтересованных сторон играют ключевую роль в успешной реализации этих стратегий.

ГЛАВА 3. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ МУРМАНСКУЮ ОБЛАСТЬ

Климат Мурманской области отличается мягкостью. На севере области климат субарктический морской, а на юге — холодный умеренный. Большую роль в формировании климата играет Атлантический океан.

На побережье июльская среднемесячная температура воздуха доходит до +12...+14 градусов, а в горах — до +10...+12 градусов. Средние зимние температуры — от -8 до -12 градусов.

В летний период в Заполярье возможны заморозки и снегопады. Сильные ветры с порывами 50–60 м/с характерны для побережья и гор. Осадков за год выпадает 500 мм.

При высокой влажности воздуха и сильных ветрах даже небольшие морозы переносятся очень тяжело. Снежный покров появляется в середине октября и лежит до середины мая.

3.1 Температура

В последние десятилетия климат Арктики изменяется значительно быстрее и сильнее, чем в других регионах планеты, что сопровождается существенными колебаниями. Согласно данным Гидрометцентра России, в 2011 году среднегодовая температура в Арктике достигла своего максимального значения за весь период наблюдений с 1891 года. Исторические данные и модели, основанные на этих данных, показывают,

что климат Арктики всегда характеризовался высокой степенью естественной изменчивости.

Температура является одной из ключевых метеорологических характеристик, зависящих от множества факторов. Географическое положение, практически вся территория Мурманской области находится за Полярным кругом, позволяет сделать выводы о том, что зима здесь менее холодная по сравнению с Восточной Россией, а лето не слишком жаркое, и температуры редко опускаются до экстремально низких значений. Это связано с адвекцией воздушных масс с моря, которое служит значительным источником тепла, а также с влиянием течения Гольфстрим, проходящего вдоль Кольского полуострова. Благодаря морскому теплу, средняя температура воздуха в зимний сезон на Кольском полуострове значительно выше, чем на тех же широтах в других регионах. Весной влияние моря на температурный режим уменьшается, и температурные контрасты на побережьях становятся менее выраженными.

Восточная часть Кольского полуострова холоднее западной из-за присутствия льдов в Белом море. Летом самые высокие средние сезонные температуры наблюдаются в более удаленных от Баренцева и востока Белого морей районах. Осенью Баренцево и Белое моря оказывают примерно такое же влияние, как и весной. На Терском, Мурманском побережьях и на побережье озера Имандра температура осенью выше, чем в других районах. По мере приближения к морям температура снижается.

Мурманская область находится на границе между большим материком на юге и обширной акваторией Баренцева моря на севере. За счет адвекции воздушных масс с теплой суши, несмотря на редкость таких ситуаций в теплое время года, средняя летняя температура в Мурманской области немного выше средней широтной.

Самая высокая среднегодовая температура наблюдается в западных районах Мурманского побережья и на побережье Кандалакшского залива. По мере продвижения к востоку — на Мурманском и Терском побережьях — средняя годовая температура постепенно снижается, достигая $1,6^{\circ}$ - $1,8^{\circ}$ на побережье Белого моря.

Рельеф также влияет на температуру. В самых высокогорных районах Мурманской области (высоты более 1000 м) наблюдаются самые низкие среднегодовые температуры.[8].

Распределение абсолютных максимумов температуры на Кольском полуострове в разные месяцы более или менее однородно. Это объясняется тем, что абсолютные максимумы температуры вызываются адвекцией самых теплых воздушных масс и наблюдаются при сильных ветрах. В таких условиях влияние местных условий на максимальную температуру сглаживается. Однако в начале лета, в конце весны и в начале осени, когда самые высокие температуры вызваны адвекцией теплого воздуха с материка, на востоке Терского побережья максимальные температуры ниже, чем в других районах Кольского полуострова. Это связано с охлаждением теплого континентального воздуха над более холодной водой Белого моря. [6].

3.2 Влажность

Одним из основных климатических показателей Мурманской области является влажность. Этот регион, расположенный в северо-западной части России, характеризуется высокой влажностью из-за близости к Баренцеву морю. Влажность воздуха здесь обычно высокая, особенно зимой.

Весной относительная влажность варьируется от 68-70% до 85-87%. Самые низкие значения наблюдаются в Туломо-Нотозерской впадине и в большей части Южно-Озерной и Имандро-Умбской низин. Наиболее высокая относительная влажность отмечается в высокогорных районах Хибинских и Ловозерских тундр (85-87%). К западу от линии Умба – Краснощелье – Воронья – Териберка и к югу от линии Териберка – остров Кильдин – Ура и Тюва-Губа. На Терском побережье относительная влажность увеличивается в восточном направлении, от 70% в районе Умбы до 85% в районе острова Сосновца. На Мурманском побережье относительная влажность варьируется от 75% до 84%.

Летом относительная влажность колеблется от 68-75% до 85-86%. Самые низкие значения наблюдаются в центральных районах Мурманской области, включая высокогорные районы (тундры Хибин), а также на берегу Кандалакшского залива, где влажность менее 75%. На Мурманском побережье, из-за преобладающих северных ветров, относительная влажность повышается до 80-84%. На Терском побережье, как и весной, влажность увеличивается к востоку, быстро поднимаясь от 75% в районе Умбы до 85-86% в районе островов Сосновец и Поной. Летом на побережье Кольского полуострова влажность быстро снижается по мере продвижения вглубь суши.

Осенью относительная влажность выше, чем летом, и колеблется от 80% до 90%. В высокогорных районах влажность достигает 85-90%, а самые низкие значения для осени — около 80%, что характерно для Печенгского района. В юго-восточной части Мурманской области влажность составляет 85-87%, включая юго-восточное побережье от мыса Святой Нос до Кузомени. [8].

Зимой влажность достигает своих максимальных значений. На Мурманском побережье, к западу от линии Кола – Кандалакша, влажность

достигает до 85%. В остальных районах она может подниматься до 90%. В редких случаях относительная влажность может снижаться до 30% и ниже, что происходит при быстром прогревании холодного воздуха во время антициклона при ясной погоде.

3.3 Осадки

Мурманская область получает осадки в основном в виде снега. Снегопады здесь обильные из-за морского влияния и холодного климата. Летом также возможны дожди, но общее количество осадков в виде снега преобладает.

Осадки в регионе в основном обусловлены циклонической и фронтальной деятельностью, а также адвекцией воздушных масс с высоким влагосодержанием и вертикальной неустойчивостью. Для Мурманской области характерно несоответствие между интенсивностью и повторяемостью циклонических и фронтальных процессов и количеством осадков. Большое количество осадков выпадает в виде обложных, реже в виде ливневых и морозящих.

Летом суточное количество осадков более 10 мм является обычным явлением даже на равнинах, удаленных от горных массивов. Такие осадки повторяются несколько раз за сезон. Зимой дни с осадками более 10 мм случаются реже, но в сезон с декабря по март это возможно. Осадки более 20 мм за сутки зимой и весной выпадают только в горных районах, а летом — один раз за сезон.

Летом осадки интенсивнее, чем зимой, из-за более высокого влагосодержания воздуха. Средняя абсолютная влажность у поверхности

земли почти в пять раз выше в июле, чем в январе. При адвекции теплого и влажного воздуха с материка удельная влажность в нижнем слое атмосферы может достигать 8-12 граммов воды на килограмм влажного воздуха. [6].

С ноября по апрель влагосодержание континентального воздуха значительно уменьшается, что ведет к снижению обильности осадков зимой. Теплые и влажные воздушные массы, приходящие с Атлантики к Кольскому полуострову, теряют около 20-30% своей влаги, преодолевая Скандинавские горы. Летом воздушные массы с континента по пути к Кольскому полуострову увеличивают свое влагосодержание за счет испарений с озер и болот северной таежной зоны.

В Мурманской области выпадают обложные, ливневые и морозящие осадки. Обложные осадки сопровождают циклоны и продолжаются от нескольких часов до суток и дольше. Они приносят самые большие суточные суммы осадков. Морозящие осадки характерны для Мурманской и северной части Терского побережья летом, приводя к образованию гололеда при низких температурах воздуха.

ГЛАВА 4. ДИНАМИКА КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АРКТИКИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Практической задачей данной ВКР является анализ полученных данных по температуре воздуха и количество осадков с 1936 по 2023 установить связь между этими параметрами и изменением климата в Мурманской области. Для этого с сайта aisori-m.meteo.ru были взяты архивные данные средней температуры воздуха и осадков по Мурманску, в период с 1936 по 2023 год. Данные температуры и осадков были усреднены за каждый год.

4.1 Исследование температуры Мурманской области

Для построения графиков, я разделила архивные данные по месяцам. Нашла минимальные и максимальные значения по температуре воздуха. Составила таблицы данных, по которым делала графики. Также разделила данные на четыре сезона (зима, весна, лето, осень).



Рисунок 4.1. График минимальной температуры с 1936 по 2023 гг.



Рисунок 4.2. Максимальная температура с 1936 по 2023 гг.

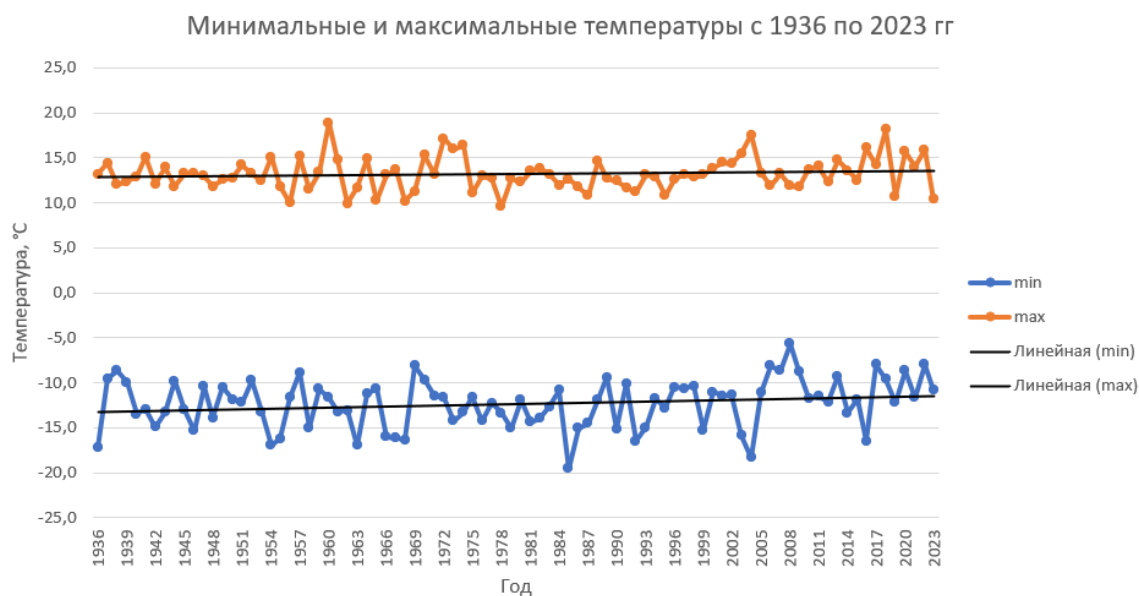


Рисунок 4.3. Минимальные и максимальные температуры с 1936 по 2023 гг

По графикам видно, что самая минимальная среднемесячная температура воздуха составила $-19,5^{\circ}\text{C}$ в 1986 г., а самая максимальная среднемесячная температура воздуха составляет $18,9^{\circ}\text{C}$ в 1960 г.

4.2 Исследование сезонной температуры за период с 1936 по 2023 год

Для более детального изучения температурного режима были взяты данные температуры воздуха за период с 1936 по 2023 г. на сайте aisori-m.meteo.ru. Данные были отсортированы по годам за каждый месяц. Далее по всем данным температуры воздуха за месяц, было проведено осреднение и построены графики, по которым можно наблюдать, как менялось среднее значение температуры воздуха по годам в обозначенный период, в определенный месяц.

Рассмотрим полученные графики и таблицы средних температур воздуха за месяц, по временам года:

Зима

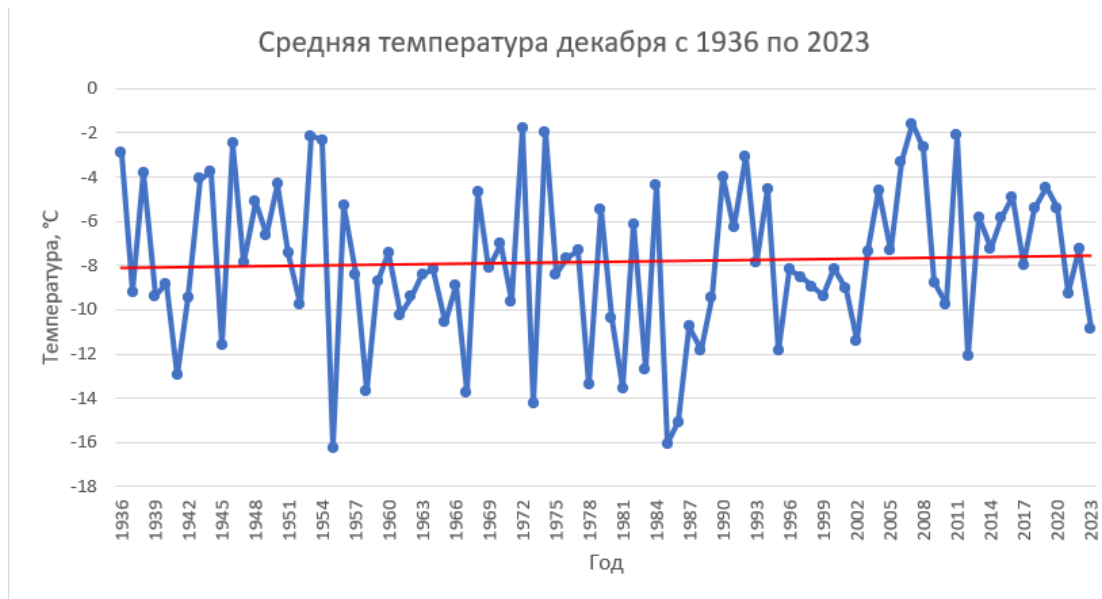


Рисунок 4.4. Средняя температура декабря с 1936 по 2023 гг.

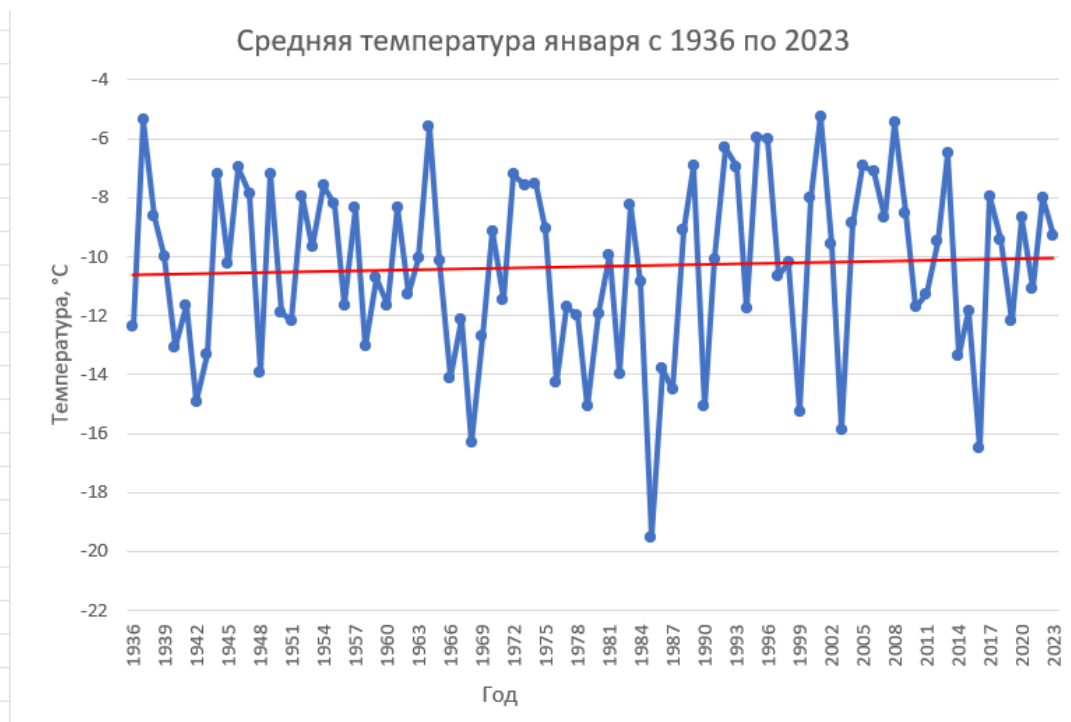


Рисунок 4.5. Средняя температура января с 1936 по 2023 гг.



Рисунок 4.6. Средняя температура февраля с 1936 по 2023 гг.

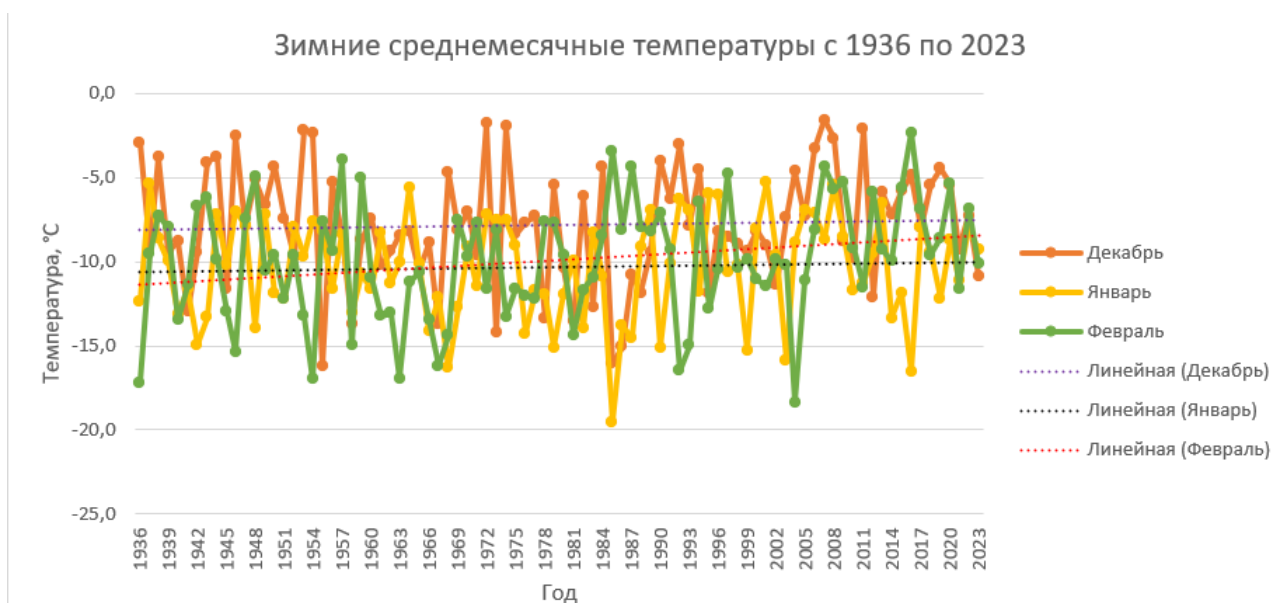


Рисунок 4.7. Среднемесячные температуры за зимний период.

Самые высокие средние температуры воздуха зимой составили $-1,8^{\circ}\text{C}$ в 1972 г., $-1,6^{\circ}\text{C}$ в 2007 г., $-2,1^{\circ}\text{C}$ в 2011 г. Самые низкие средние температуры воздуха зимой составили $-19,5^{\circ}\text{C}$ в 1985 г., $-18,3^{\circ}\text{C}$ в 2004 г., $-16,5^{\circ}\text{C}$ в 2016 год.

По данным графиков, в декабре, январе и феврале средняя температура имеет тенденцию на повышение температуры.

Весна



Рисунок 4.8. Средняя температура марта с 1936 по 2023 гг.

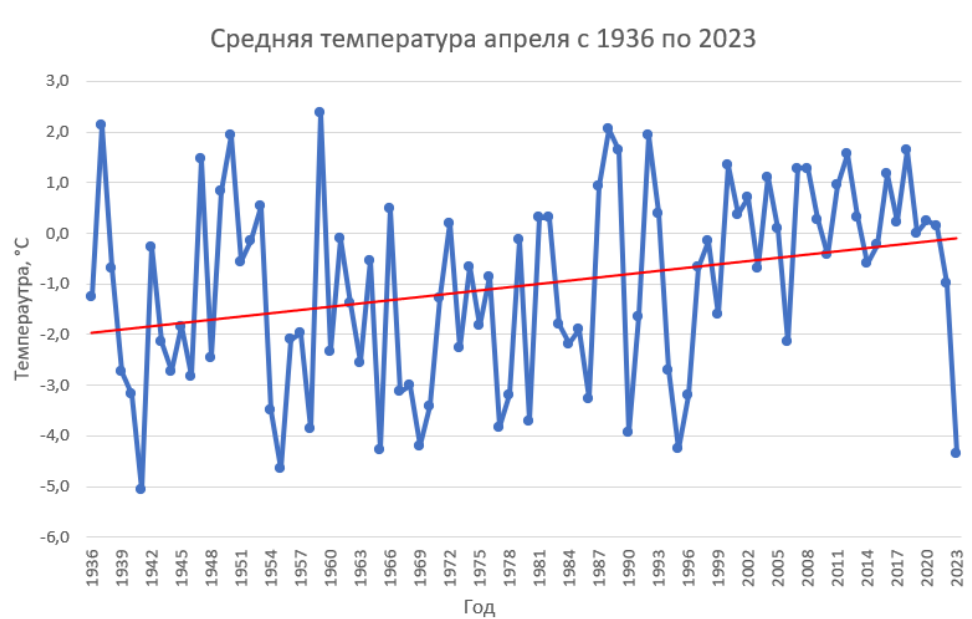


Рисунок 4.9. Средняя температура апреля с 1936 по 2023 гг

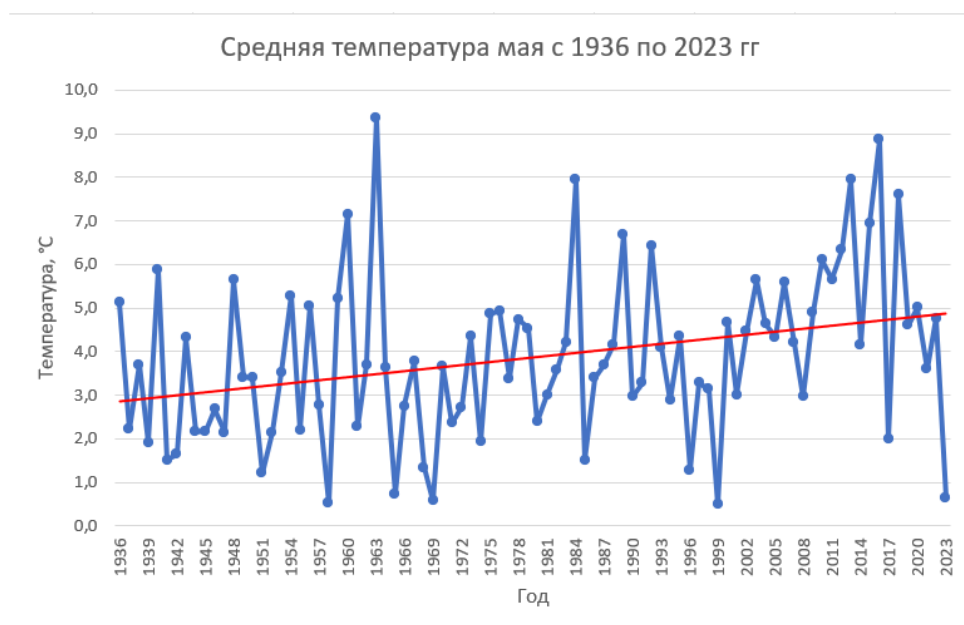


Рисунок 4.10. Средняя температура мая с 1936 по 2023 гг.

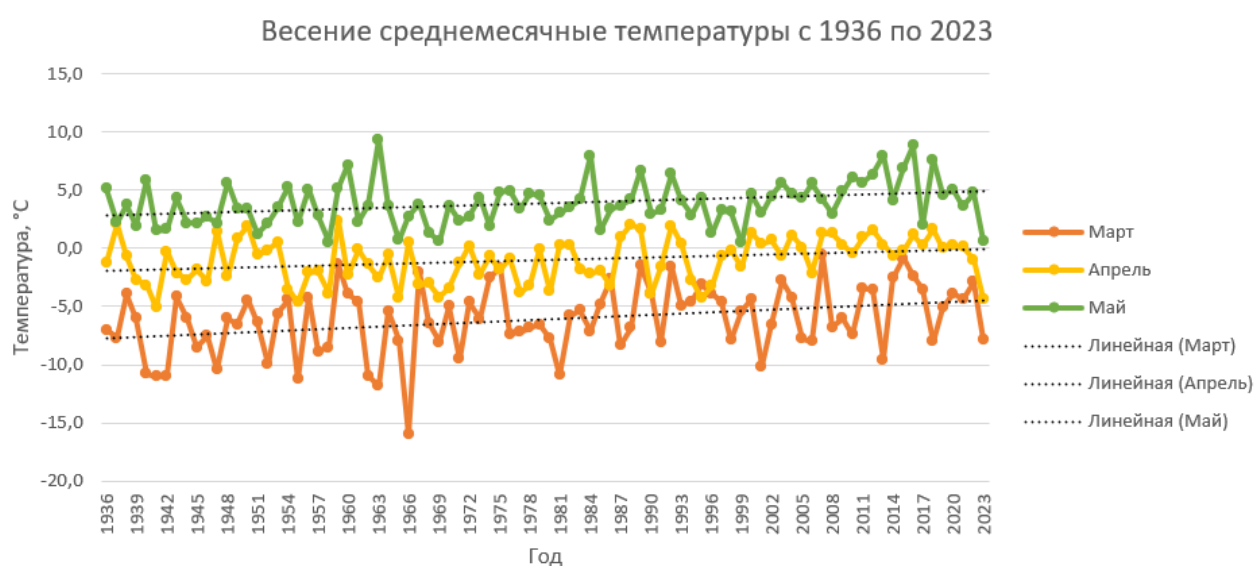


Рисунок 4.11. Среднemesячные температуры за весенний период

По данным графиков можно сделать вывод, что весной во все 3 месяца, средняя температура имеет тенденцию на увеличение.

По графику среднemesячной температуры можно сделать следующие выводы: Самые высокие средние температуры воздуха весной составили: +9,4°C в 1963 г., 7,9 °C в 1974 г., 8,9 °C в 2016 г. А самые минимальные

средние температуры воздуха составили: $-16,0^{\circ}\text{C}$ в 1966 г., $-10,9^{\circ}\text{C}$ в 1981 и $-10,1^{\circ}\text{C}$ в 2001 г.

Лето



Рисунок 4.12. Средняя температура июня с 1936 по 2023 гг.



Рисунок 4.13. Средняя температура июля с 1936 по 2023 гг.



Рисунок 4.14. Средняя температура августа с 1936 по 2023 гг.

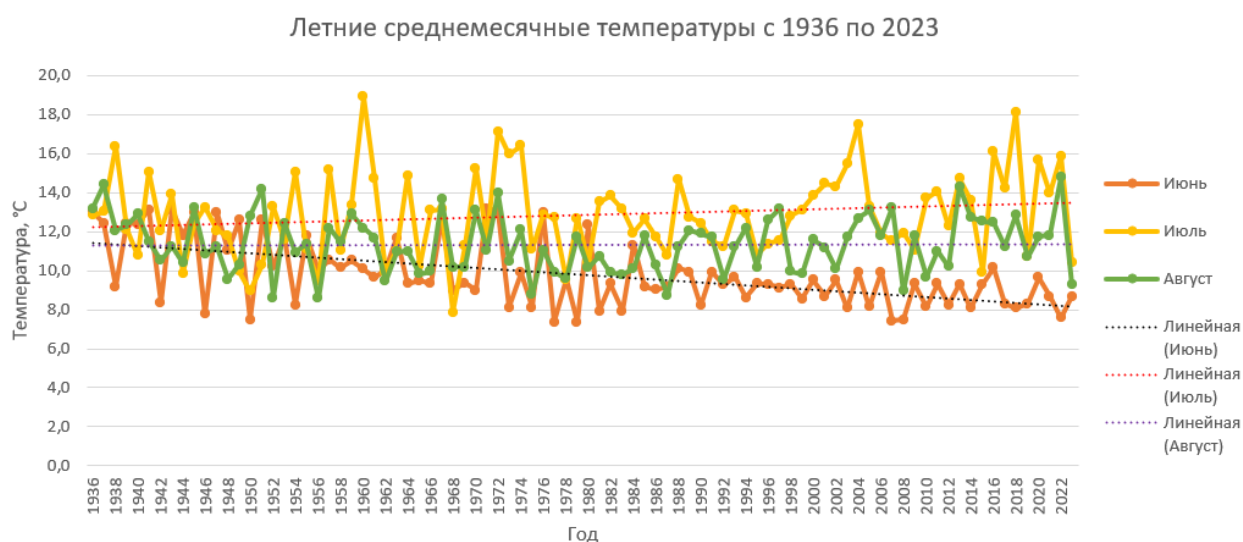


Рисунок 4.15. Среднемесячные температуры за летний период

По графикам можно сделать вывод, что в июне средняя температура имеет тенденцию на понижение, в период с 1936 по 2023 год, наблюдался рост средней температуры воздуха в июле.

Можно сделать следующие выводы: Самые высокие средние температуры воздуха летом составили: $18,9^{\circ}\text{C}$ в 1960 г., $17,5^{\circ}\text{C}$ в 2004 г., $18,1^{\circ}\text{C}$ в 2018 г. А самые минимальные средние температуры воздуха составили: $7,4^{\circ}\text{C}$ в 1977 г., $7,4^{\circ}\text{C}$ в 2007 г., $7,6^{\circ}\text{C}$ в 2022г.

Осень

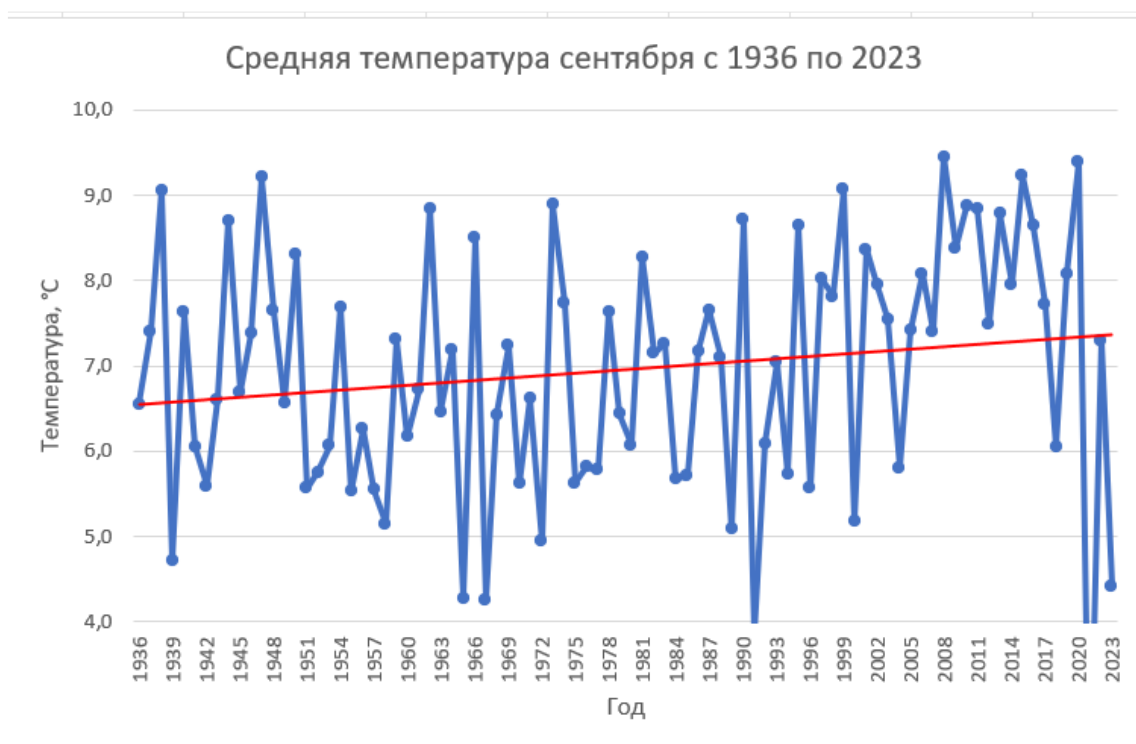


Рисунок 4.16. Средняя температура сентября с 1936 по 2023 гг

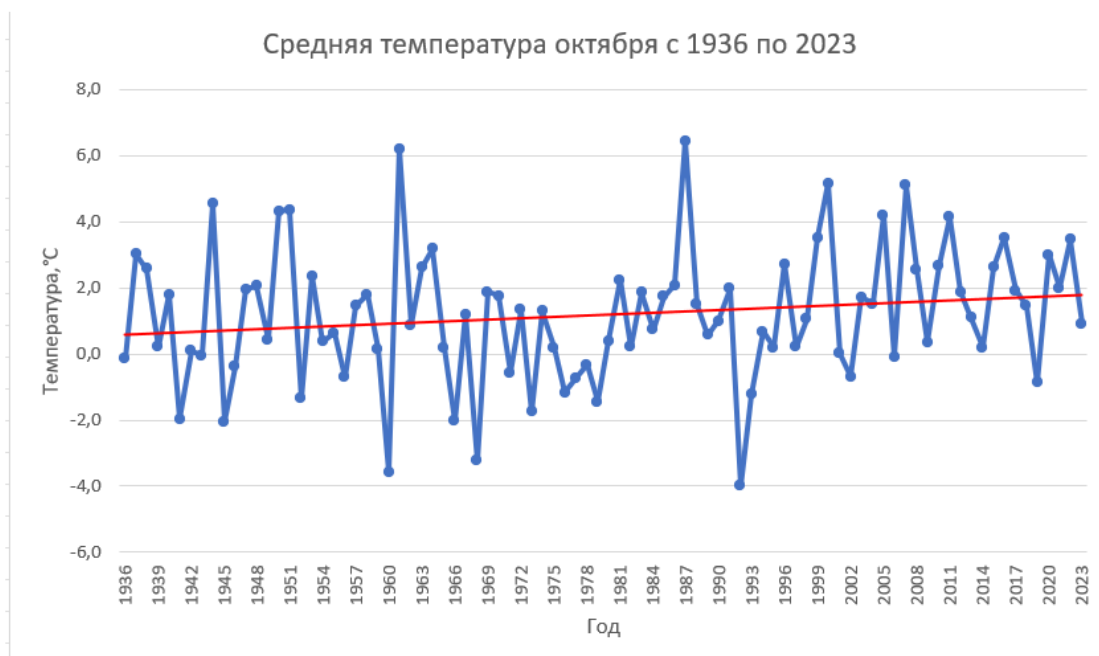


Рисунок 4.17. Средняя температура октября с 1936 по 2023 гг.



Рисунок 4.18. Средняя температура ноября с 1936 по 2023 гг.

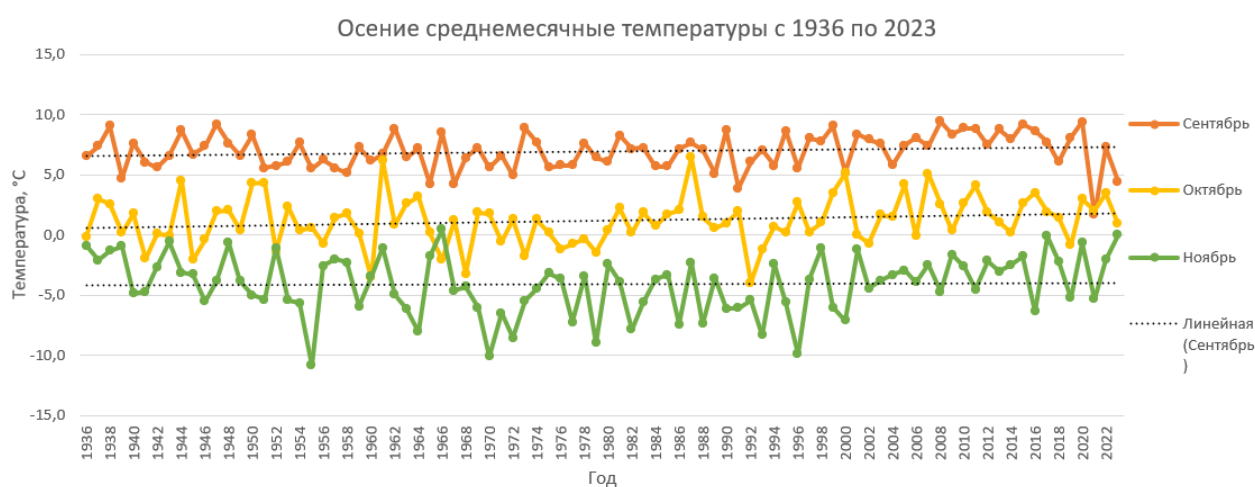


Рисунок 4.19. Среднемесячные температуры за осенний период

По графикам можно сделать вывод, что в сентябре и октябре наблюдался рост средней температуры. В ноябре, средняя температура воздуха понижалась, но менее интенсивно.

Также можно сделать следующие выводы: максимальная температура воздуха в сентябре составила : 7,7°C в 1974 г., 9,4°C в 2008 г., 9,9°C в 2020

г. А самые минимальные средние температуры воздуха составили: $-10,8^{\circ}\text{C}$ в 1955 г., $-10,1^{\circ}\text{C}$ в 1970 г., $-9,9^{\circ}\text{C}$ в 1996 г.

4.3 Исследование осадков в Мурманской области.



Рисунок 4.20. Минимальное количество осадков с 1936 по 2023 гг.



Рисунок 4.21. Максимальное количество осадков с 1936 по 2023 гг.

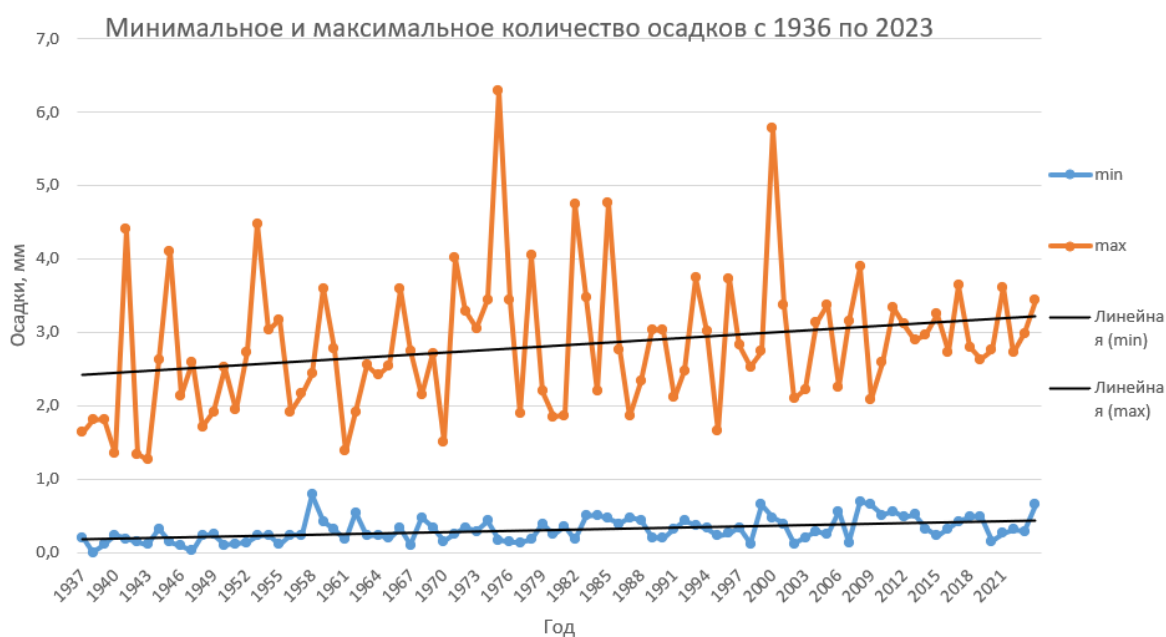


Рисунок 4.22. Минимальные и максимальные количества осадков с 1936 по 2023 гг.

4.4 Исследование сезонных осадков в Мурманской области.

Для более детального изучения были взяты данные по осадкам за период с 1936 по 2023 г. на сайте aisori-m.meteo.ru. Данные были отсортированы по годам за каждый месяц. Далее по всем данным осадков за месяц, было проведено осреднение и построены графики, по которым можно наблюдать, как менялось среднее количество осадков по годам в обозначенный период, в определенный месяц.

Рассмотрим полученные графики и таблицы средних количеств осадков за месяц, по временам года:

Зима



Рисунок 4.23. Среднее количество осадков за декабрь с 1936 по 2023 гг.

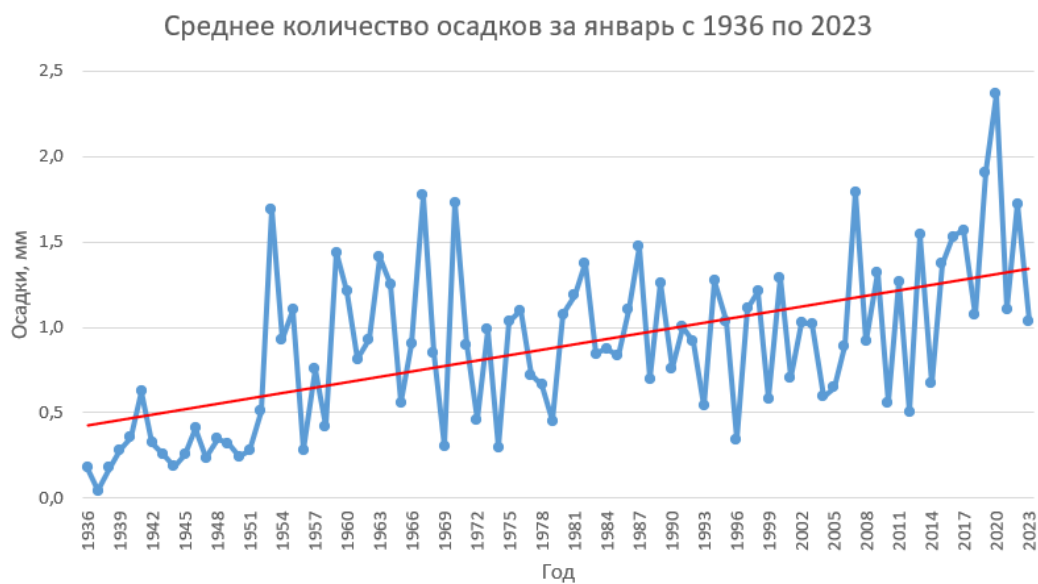


Рисунок 4.24. Среднее количество осадков за январь с 1936 по 2023 гг.



Рисунок 4.25. Среднее количество осадков за декабрь с 1936 по 2023 гг.

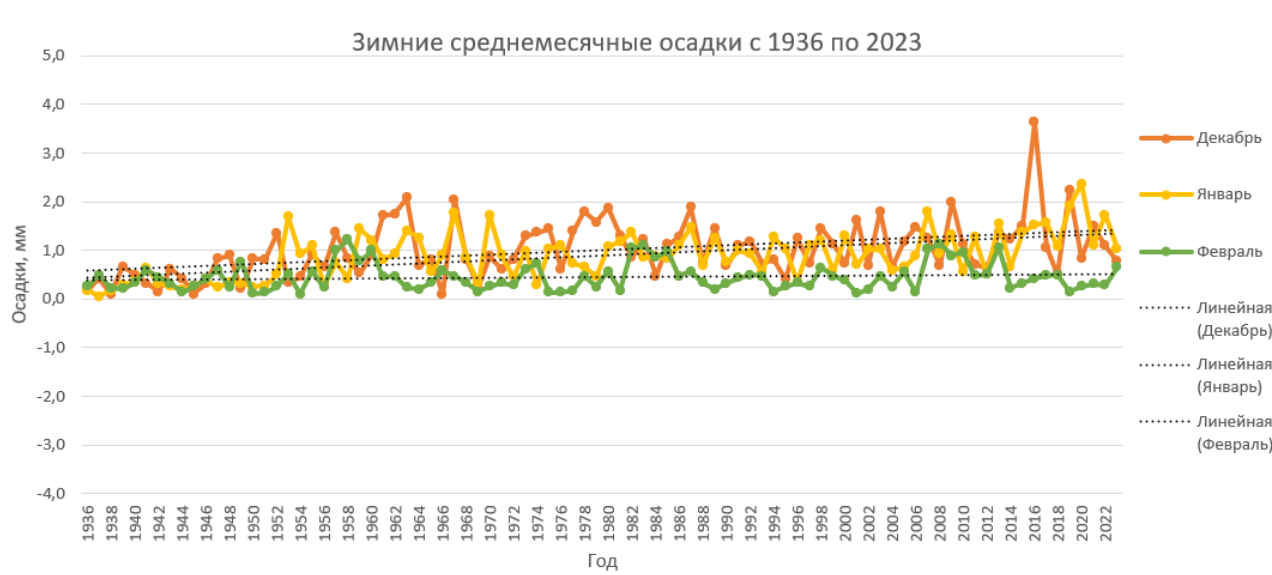


Рисунок 4.26. Среднемесячное количество осадков по годам за зимний период.

По графикам можно сделать вывод, что в декабре и январе наблюдался рост среднемесячных осадков. В феврале, среднемесячное количество осадков росла, но менее интенсивно.

Также можно сделать следующие выводы: максимальная температура воздуха в сентябре составила : 2,1 мм в 1963 г., 1,9 мм в 1987 г., 3,6 мм в 2016 г. А самые минимальные средние температуры воздуха составили: 0,1 мм в 1954 г., в 2006 и 0,2 мм в 2019 г.

Весна



Рисунок 4.27. Среднее количество осадков за март с 1936 по 2023 гг.

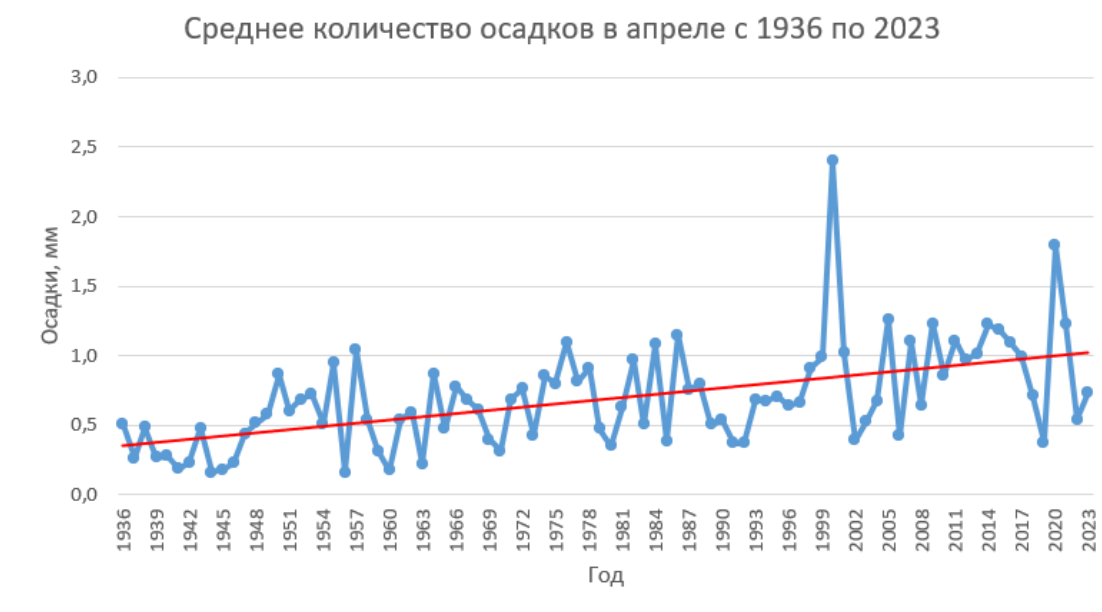


Рисунок 4.28. Среднее количество осадков за март с 1936 по 2023 гг.

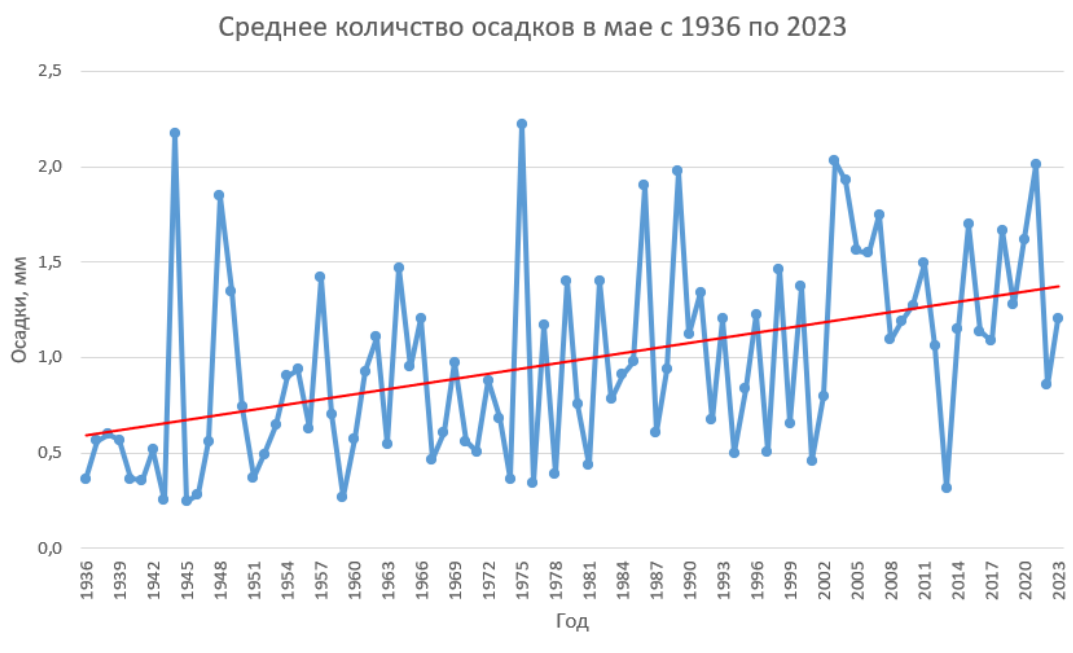


Рисунок 4.29. Среднее количество осадков за май с 1936 по 2023 гг.



Рисунок 4.30. Среднемесячное количество осадков по годам за весенний период.

По графикам можно сделать вывод, что во всех трех весенних месяцах наблюдается тенденция на повышение количества осадков.

Также можно сделать следующие выводы: максимальное количество осадков составило : 2,2 мм в 1944 и в 1975 г., 2,4 мм в 2000 г. А самые минимальные средние температуры воздуха составили: 0 мм в 1946 г., 0,2 мм в 1988 г., 0,3 мм в 2019 г..

Лето



Рисунок 4.31. Среднее количество осадков в июне с 1936 по 2023 гг.



Рисунок 4.32. Среднее количество осадков в июле с 1936 по 2023 гг.



Рисунок 4.33. Среднее количество осадков в августе с 1936 по 2023 гг.



Рисунок 4.34. Среднемесячное количество осадков за летний период

По графикам можно сделать вывод, что в летние месяцы наблюдается рост количества осадков.

Можно сделать следующие выводы: максимальное количество осадков составило : 6,3 мм в 1974 г., 4,8 мм в 1984 г., 5,8 мм в 1999 г. А самые минимальные средние температуры воздуха составили: 0,2 мм в 1944 г., 0,1 мм в 1997 г., 0,3 мм в 2003г..

Осень

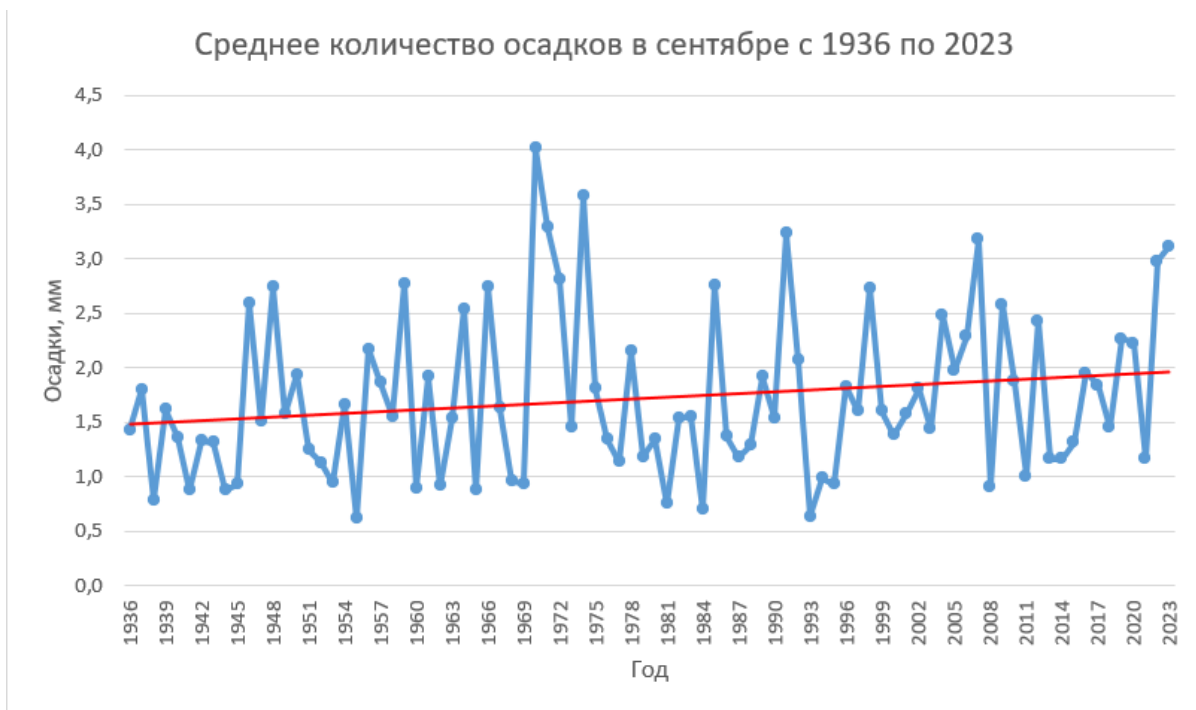


Рисунок 4.35. Среднее количество осадков в сентябре с 1936 по 2023 гг

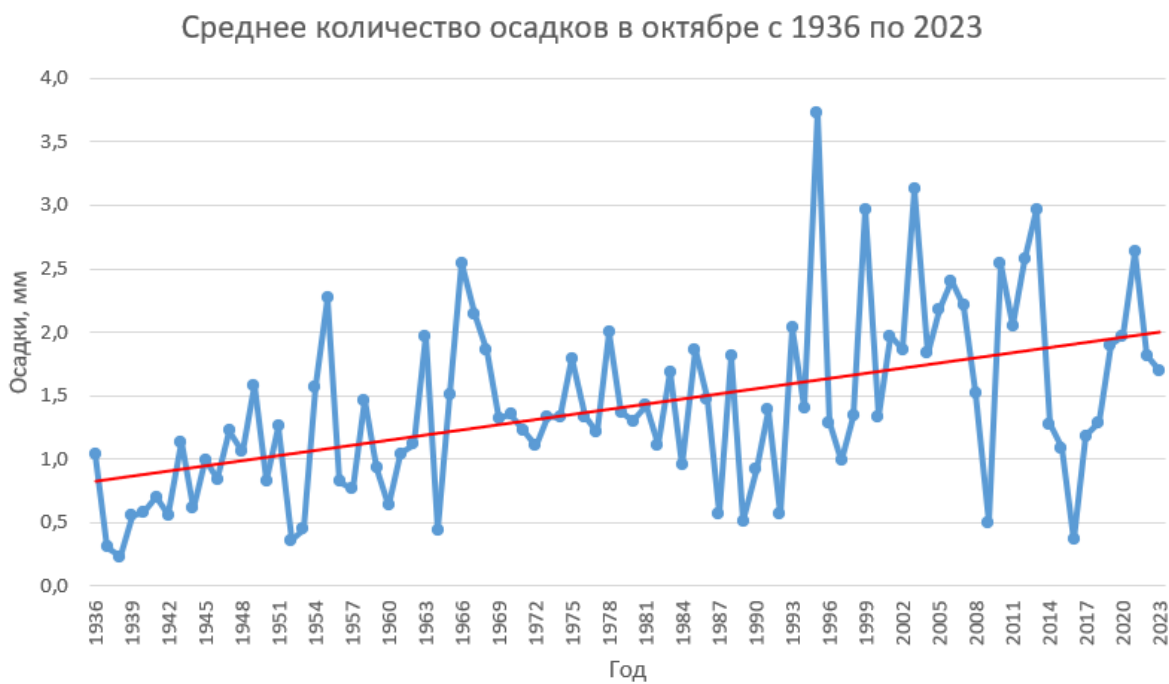


Рисунок 4.35. Среднее количество осадков в сентябре с 1936 по 2023 гг.



Рисунок 4.36. Среднее количество осадков в сентябре с 1936 по 2023 гг.

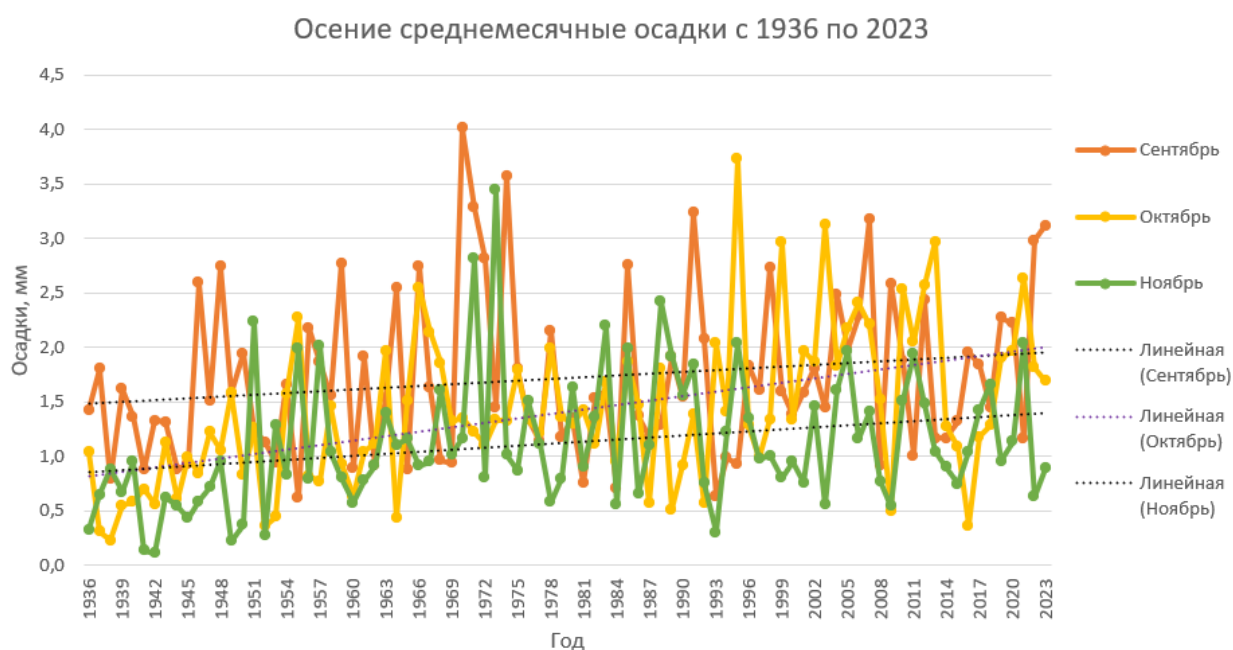


Рисунок 4.37. Среднemesячное количество осадков за осенний период

По графикам можно сделать вывод, что во всех месяц наблюдается рост количества осадков.

Также можно сделать следующие выводы: количество осадков составило : 4,0 мм в 1970 г., 3,6 мм в 1974 г., 3,7 мм в 1995 г. А самые

минимальные средние температуры воздуха составили: 0,1 мм в 1942 г., 0,3 мм в 1993 г., 0,4 в 2016г..

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель данной работы заключалась в исследовании динамики климатических показателей Арктики в условиях изменения климата. Эта цель была успешно реализована. В процессе исследования были решены следующие задачи:

1. Определены основные факторы и метеорологические параметры, влияющие на климат Мурманской области: температура и влажность воздуха, давление, ветер и осадки.
2. Созданы базы данных многолетних средних годовых температур воздуха и осадков по годам и месяцам за период с 1936 по 2023 год.
3. В данной работе был изучен температурный режим и количество осадков Мурманской области, используя многолетние данные средней температуры воздуха с сайта aisori-m.meteo.ru период с 1936 по 2023 год.
4. Проведен анализ и определена интенсивность изменения климата на основе средних значений температуры воздуха и количества осадков.
5. Выполнены расчеты для оценки влияния температурного режима на изменение климата в Мурманской области.

На основе построенных графиков показан многолетний тренд к потеплению, и сделаны следующие выводы: средняя температура воздуха постепенно увеличивается, что приводит к изменению климата, в частности к повышению температуры на Кольском полуострове.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Я. Яковлев Климат мурманской области. Мурманское книжное издательство, 1961. 199 с.
2. Воздействие изменения климата на российскую Арктику: анализ и пути решения проблемы. WWF России. – М., 2008. С.6
3. Никитина Е. Н. Изменение климата в Арктике: адаптация в ответ на новые вызовы // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. – 2019. – Т. 12. – №. 5. С.178
4. <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index0.shtml>
5. О. В. Аксенова, В. Н. Бочарников и др. Природа и коренное население Арктики под влиянием изменения климата и индустриального освоения: Мурманская область. Москва: Изд. Дом «Графит», 2020. 180 с.
6. А.Р. Анциферова, Е.Д. Сиеккиен, О.М. Чаус «Изменение климата на Кольском полуострове. Погодные аномалии XXI века.
7. Нестеров, Е. С. Полярные циклоны: наблюдения, реанализ, моделирование / Е. С. Нестеров // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2020. – № 1(375). – С. 65-82. – DOI 10.37162/2618-9631-2020-1- 65-82. – EDN ACMVFS.
8. Жуков М.А. Методологические и методические проблемы выделения Арктической зоны Российской Федерации / Арктика XXI век. Гуманитарные науки. 2014.