



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра ЭФА

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему: «Влияние метеорологических факторов на потепление в
Арктическом регионе.»

Исполнитель

Русу Даниил Динувич

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

Кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Симакина Татьяна Евгеньевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

Кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Восканян Карина Левановна

(фамилия, имя, отчество)

«9» июня 2025 г.

Санкт-Петербург

2025

Оглавление:

ВВЕДЕНИЕ	3
Географическое положение и климат Арктики.	5
1.1. Географическое положение и границы Мурманской и Архангельской областей.	7
1.2. Рельеф и геологическое строение Мурманской и Архангельской областей	11
1.3. Климатические условия Мурманской и Архангельской областей	18
ГЛАВА 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА БИФУРКАЦИИ	24
2.1 Исходные данные.	24
2.2. Методика нахождения точки бифуркации.	26
ГЛАВА 3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В МУРМАНСКЕ И АРХАНГЕЛЬСКЕ.	27
3.1. Исследование Температуры воздуха в Архангельске и Мурманске.	27
3.2. Исследование количества атмосферных осадков в Архангельске и Мурманске.	34
3.3 Исследование относительной влажности в Архангельске и Мурманске.	41
3.4. Исследование ледового покрова в Арктике.	48
3.5. Нахождение точек бифуркации.	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.	61
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	63

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования: В настоящее время проблематика глобального изменения климата находится в фокусе в научном мире. Если рассматривать климат как неисчерпаемый природный ресурс, то Россия занимает особую позицию на глобальной «карте» климатических изменений от которых, наряду с рисками получает потенциальные выгоды:

- На 13% сокращается минимальная площадь льдов в Арктике, что улучшает условия навигации по Северному морскому пути.
- Увеличивается сток сибирских рек, за счет более теплых зим в целом по стране сток становится более равномерным в течение года, что положительно влияет на водопользование и гидроэнергетику.
- Каждые 10 лет в среднем по России отопительный период сокращается на пять дней.
- На 3–5 дней увеличивается период со среднесуточной температурой выше 10 градусов и продвигается к северу граница устойчивого земледелия [2].

Рассматриваемыми в рамках исследования климата Арктики будут города Мурманск и Архангельск, виду своего географического положения.

Объект исследования: Климат Арктики

Предмет исследования: Динамика метеорологических величин в регионе Арктики за период 60 лет (с 1964 по 2024 г.г.) на примере городов Мурманска и Архангельска

Цель исследования: Выявить закономерности в изменении климата региона Арктики.

Задачи исследования: Составить таблицы в MS EXCEL на основе базы данных сайта ВНИИГМИ [11], построить графики, описывающие

ход метеорологических величин и провести их анализ, сделать выводы о динамике хода исследуемых метеорологических параметров.

Методы исследования: Основные методы исследования – компьютерная техника, статистический и пространственный анализ результатов, а также нахождение точек изменения динамики хода параметра с помощью метода бифуркации.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕГИОНА.

Регион Арктики представляет собой обширную область, находящуюся в Северном полушарии Земли, и включающую территории к северу от Полярного круга ($66,5^\circ$ северной широты). Данный регион охватывает значительные части восьми стран на крайнем севере: России, Дании (Гренландия), Канады, Норвегии, Исландии, Швеции, Финляндии и США (Аляска) – рисунок 1. Арктику можно охарактеризовать уникальными экологическими и климатическими условиями, которые оказывают существенное влияние на климат всей планеты.

Географическое положение и климат Арктики.

Границы Арктики можно определять по-разному. Астрономическая граница — севернее Северного полярного круга ($\sim 66^\circ 33'$ с. ш.). Климатическая граница — по изотерме $+10^\circ\text{C}$ самого тёплого месяца (июля). Географическая граница — включает Северный Ледовитый океан с островами и окраины Евразии и Северной Америки. Площадь равняется примерно 27 млн km^2 , из которых 14 млн km^2 — морские льды [1].

Территориально Арктика включает северные оконечности Евразии и Северной Америки, почти всю акваторию Северного Ледовитого океана с островами (кроме прибрежных островов Норвегии) и прилегающие части Атлантического и Тихого океанов.

Климат данного региона суров, характеризуется температурами - ниже 0°C , непосредственное влияние на который оказывают Арктические атмосферные фронты. Чаще всего на территории Арктики встречаются зоны тундры, лесотундры и арктические пустыни.



Рисунок 1 Границы Арктического региона

1.1. Географическое положение и границы Мурманской и Архангельской областей.

Мурманская область находится на северо-западной границе России, большей частью своих территорий располагаясь на Кольском полуострове. Северное побережье Мурманской области от государственной границы с Норвегией до мыса Святой Нос называют Мурманским берегом, устье Кольского залива разделяет его на Западный Мурман и Восточный. Берег Белого моря от мыса Святой Нос до устья р. Варзуги называется Терским берегом, далее на запад, до устья р. Нивы, — Кандалакшским берегом. В состав Мурманской области входят острова прибрежной части Кольского полуострова. Площадь области — 144,9 тыс. км² (0,8% площади РФ), протяженность с запада на восток — около 550 км, с севера на юг — 400. Северное побережье Кольского п-ова обрывистое, расчлененное фьордами (Кольский, Мотовский заливы и др.), полуостровами (п-ова Рыбачий, Средний), с многочисленными мелкими и крупными островами (о. Колгуев). Вдоль восточного и южного побережий — низменные территории. Рельеф отличается большой пересеченностью, представляя собой систему впадин и возвышенностей, сглаженных действием ледника. Крупнейшие горные массивы на Кольском п-ове: Хибинские тундры (Хибины), Ловозерские тундры, Кейвы, Чунатундра, Мончетундра, Волчья и Сальные тундры. Самая высокая точка Кольского п-ова — г. Юдычвумчорр (Хибины) — находится на высоте 1208 м над уровнем моря [1].

Большая часть Мурманской области расположена за Северным полярным кругом – рисунок 2. Климат — субарктический морской, имеющий многие черты континентального. Зима длительная, но не суровая, лето короткое и прохладное. Средние температуры января — от -8 до -13 °С, июля от +8 до +14 °С. Для Мурманской области характерно наличие полярного дня и полярной ночи.



Рисунок 2 Границы Мурманской области

Архангельская область находится на севере Восточно-Европейской равнины. Омывается Белым, Баренцевым, Печорским и Карским морями. Архангельская область располагается близко к арктическим морям и удалена от тёплого Северо-Атлантического течения (ответвление Гольфстрима). На территории Архангельской области находятся мыс Флигели (крайняя северная точка России, Европы и Евразии) и мыс Флиссингский (крайняя восточная точка Европы). Граничит на западе с Карелией, на юге с Вологодской и Кировской областями, на востоке с Республикой Коми. Ненецкий АО граничит на юге и юго-востоке с Республикой Коми, на востоке — с Ямало-Ненецким автономным округом. Площадь Архангельской области (589 913 км. Область является крупнейшим субъектом федерации в европейской части России и крупнейшей областью (провинцией) в Европе. Часть территории Архангельской области отнесена к районам Крайнего Севера: острова Белого моря (Соловецкий архипелаг), архипелаг Новая Земля, Ненецкий автономный округ, Лешуконский, Пинежский и Мезенский районы, город Северодвинск. Все остальные муниципальные образования области имеют статус территорий, приравненных к районам Крайнего Севера [3].

Практически все острова и архипелаги Архангельской области находятся выше Северного полярного круга – рисунок 3. Климат — умеренно-континентальный с влиянием северных морей и Арктики, характеризуется длинной холодной зимой (средняя t января: -12°C на юге, до -18°C на севере), коротким прохладным летом (средняя t июля: $+15...+17^{\circ}\text{C}$), высокой влажностью и обильными осадками (600–700 мм в год), максимум — летом и осенью, и частыми циклонами с пасмурной погодой и ветрами. Для севера области характерны полярная ночь и день.



Рисунок 3 Границы Архангельской области

1.2. Рельеф и геологическое строение Мурманской и Архангельской областей

Преобладающий рельеф центральной части Мурманской области — возвышенная равнина Пурначского плато. Большую часть поверхности (около 80%) занимают высотные отметки от 100 до 350 м над уровнем моря. Самые высокие вершины достигают высоты 1200 м (г. Юдычвумчорр в Хибинах). Мурманская область расположена на материковой части Европейской России, 3 полуостровах (Кольский, Средний и Рыбачий) и островах (крупнейший — о. Кильдин) Баренцева и Белого морей. Самая крупная территория Мурманской области — Кольский п-ов. Природной границей между ним и материком служит меридиональная впадина, которую образуют Кольский залив, долина р. Колы, впадина оз. Имандры и долина р. Нивы. П-ов Средний, самый малый по своим размерам, примыкает к материковой части области на северо-западе, а с севера к нему прилегает тоже небольшой по площади полуостров Рыбачий. Рельеф Мурманской области сформирован в течение последних 35 млн лет в процессе так называемого неотектонического этапа развития земной коры региона, когда активно проявлялись сопровождавшиеся землетрясениями (слабые землетрясения отмечаются до настоящего времени) неотектонические движения, образовавшие целую серию крупных и мелких разломов и переместившие отделившиеся по разломам блоки земной коры в вертикальном и горизонтальном направлениях. В результате этих эндогенных (протекающих за счет энергии недр Земли) процессов в рельефе поверхности выделились глыбовые горы, образовались тектонические впадины. Наиболее крупные формы рельефа Мурманской области созданы главным образом эндогенными процессами. В центре Кольского п-ова находится возвышенность Кейвы, а к северу и юго-востоку от Кейв — еще две более сглаженные возвышенности, пока не имеющие общепринятого географического названия. Часто северную возвышенность называют Мурманским, а южную — Пурначским плато. Мурманское плато, постепенно снижающееся и все менее расчлененное долинами и ущельями по направлению к востоку, обрывается в Баренцево

море крутым (до 100—150 м) уступом, который прорезают узкие, глубоко проникающие в сушу фьорды. К югу от Кейв раскинулись сильно заболоченная Понойская впадина и обширная, простирающаяся по всей южной части Кольского п-ова, довольно однообразная приморская равнина, пока не имеющая четкого географического названия (чаще всего ее именуют Терской низиной). Протянувшись широкой полосой вдоль Терского берега Белого моря, Терская низина наиболее высокой своей частью (200—250 м над уровнем моря) расположена на севере, затем широкими ступенями спускается к Белому морю. Среди однообразных заболоченных лесов на равнине возвышаются многочисленные ледниковые аккумулятивные образования — друмлины (Продолговатые холмы, вытянутые по направлению движения ледника, сложены из морены), озы (Длинные извилистые гряды из песка и гравия), камы (Холмы округлой формы из слоистого песка и гравия, образуются у края ледника в озёрах талой воды), гряды (Валы из обломков породы (морены)). Среди болот Терской низины и далее на северо-восток, протянулись ледниковые гряды на сотни километров объединенные под общим названием Терские Кейвы. Результатом экзогенных процессов стали сглаженные вершины гор и возвышенностей, поэтому горы Мурманской области местами принимают так называемый альпийский облик, характерный для самых высоких гор мира, охваченных современным оледенением. От рельефа большей части Мурманской области отличаются рельефы п-вов Рыбачий, Средний и о-ва Кильдин, которые представляют собой выровненные, с отдельными вершинами плато, круто, местами в виде отвесных скал, обрывающиеся в море. Рельеф Мурманской области является ценным природным ресурсом. Особенно велико его значение как рекреационного и туристического ресурса [1].

Рельеф также влияет на температуру. В самых высокогорных районах Мурманской области (высоты более 1000 м) наблюдаются самые низкие среднегодовые температуры [9].

Территория Мурманской области расположена в пределах северо-восточной части Балтийского (Фенноскандинавского) кристаллического щита и представляет собой фрагмент Лапландско-Кольско-Карельской геологической провинции – рисунок 4. В ранге крупных геологических структур рассматриваются также позднеархейский Колмозеро-Вороньинский зеленокаменный пояс и раннепротерозойские структуры — Лапландско-Колвицкий и Кандалакшско-Колвицкий гранулитовые пояса и Печенгско-Варзугский зеленокаменный пояс. Эти структуры, подразделяются на более мелкие, которые, помимо сходств имеют различия в составе пород, строении и истории геологического развития [1].

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.

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 [4].

4 ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

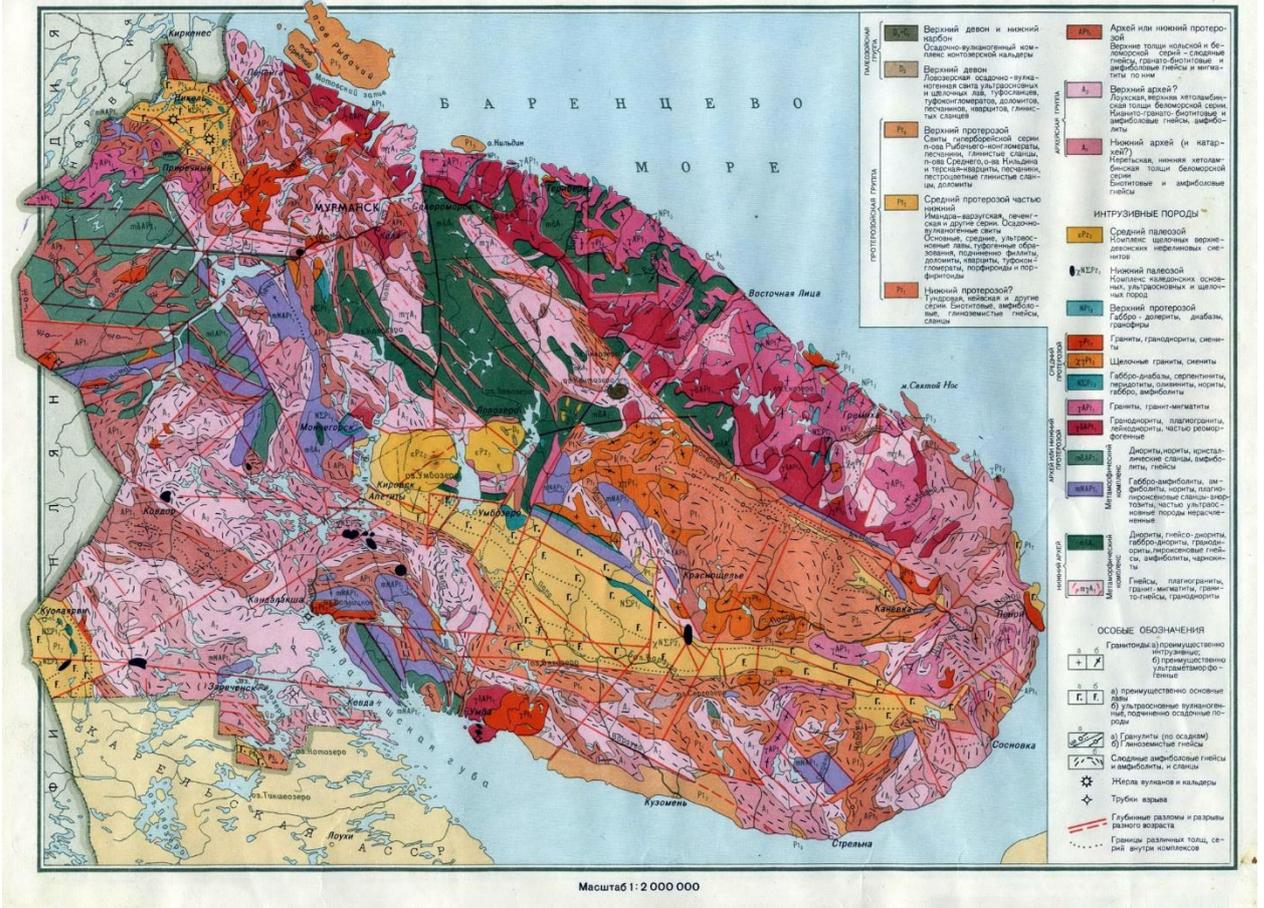


Рисунок 4 Геологическая карта Мурманской области

Большая часть территории Архангельской области характеризуется равнинным рельефом с высотами 200-250 м над уровнем моря. На его фоне выделяется несколько холмистых и грядовых возвышенностей: Ветренный пояс, Няндомская возвышенность, Тиманский кряж, Канин Камень, Пай-Хой, полого-холмистые гряды Большеземельской тундры. [ориг.источник не могу найти].

Избыточное увлажнение в сочетании с равнинным рельефом, преобладанием слабоводопроницаемых грунтов определяет обилие поверхностных вод. Для Архангельской области характерна густая речная сеть, множество озер и болот. Крупнейшие реки области Печора и Северная Двина по водоносности уступают в Европейской части России только Волге [ориг.источник не могу найти].

Большая часть территории Архангельской области относится к северной части древней Русской платформы – рисунок 5. Формирование ее складчатого фундамента завершилось уже в среднем протерозое. Впоследствии фундамент испытывал неоднократные преобразования, был разбит разломами, образование которых сопровождалось вулканическими излияниями, одни участки были приподняты, другие опущены. В результате образовалась очень неровная поверхность фундамента. Самая высокая его часть выходит на поверхность в виде Балтийского щита, на остальной площади он перекрыт морскими и континентальными отложениями платформенного чехла, который также подвергся тектоническим деформациям. В нем выделяются узкие глубокие впадины (авлакогены), более широкие и пологие прогибы (синеклизы), обширные пологие поднятия (антиклизы). Мощность отложений осадочного чехла достигает в Мезенской синеклизе 4.5-5 км, в Уральском предгорном прогибе на востоке Русской платформы 7-10 км. По геолого-геофизическим данным докембрийский фундамент Русской платформы и ее покров принадлежат к двум крупным геоблокам Карело-Кольскому и Белорусско-Балтийскому северо-западного простирания, оформившихся еще

в позднем архее. Геоблоки разделены глубоко проникающими межблоковыми швами, в верхней части которых образуются прогибы различного генезиса, в частности,

Кандалакшский грабен. Их пересекают почти под прямым углом более молодые по отношению к геоблокам наложенные активизированные структуры или разломно-блоковые зоны: Балтийско-Мезенская, протяженностью свыше 1200 км и Хибинская свыше 900 км. Там, где Хибинская и Балтийско-Мезенская зоны пересекаются с разрывными нарушениями иных направлений, образуется наиболее высокая раздробленность блоков и повышенная сейсмичность [228].

Коренные породы в основном перекрыты чехлом ледниковых, водно-ледниковых, местами морских отложений четвертичного периода (валунные супеси и суглинки, валунники, глины, пески). Также развиты речные, озерные и болотные отложения. Архипелаг Новая Земля расположен в северной части Пай-Хойско-Новоземельской складчатой системы раннемезозойского периода. Большая часть островов архипелага Земля Франца-Иосифа сложена песчаниками, алевролитами и известняками, перекрытыми толщей платобазальтов [6].

Архангельская область богата минеральными ресурсами такими как: Нефть и газ, Горючие сланцы, Бокситы, Марганцевые руды, Железные руды, Титан-циркониевые россыпи. Данный субъект России играет ключевую роль в добыче алмазов, бокситов и гипса.

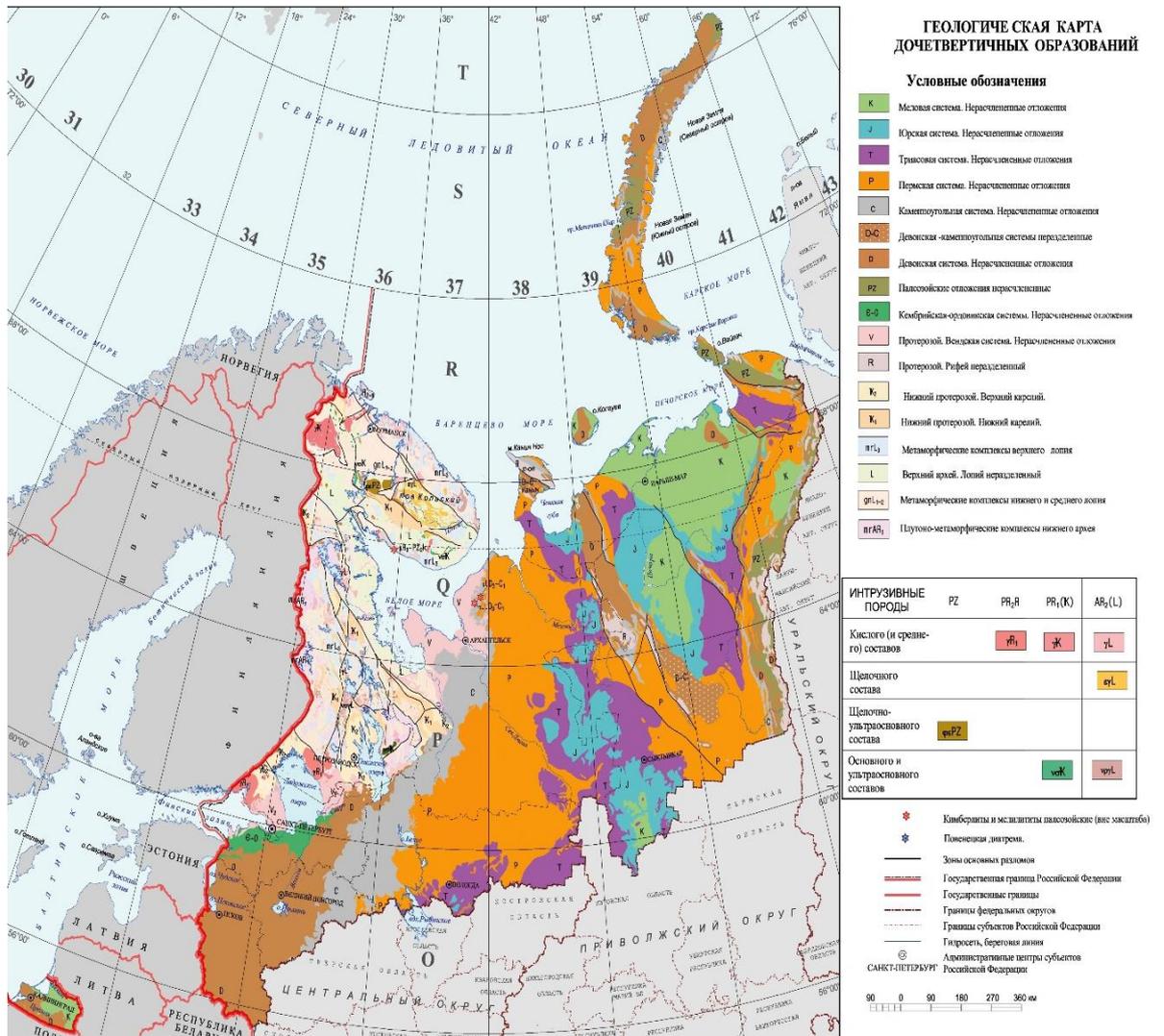


Рисунок 5 Геологическая карта Архангельской области

1.3. Климатические условия Мурманской и Архангельской областей

Мурманской области присущ суровый субарктический климат, который формируется под воздействием Арктического океана и СевероАтлантического течения. Климатические условия региона оказывают значительное влияние на его экологию, экономику и повседневную жизнь населения. Однако в прибрежной зоне на севере области протекает теплое Нордкапское течение в Баренцевом море, так же оказывающее значительное влияние на климат.

Территория Кольского полуострова относится к области с холодным влажным климатом, так как количество осадков в большинстве своем превышает их испаряемость в среднем в 1.5 раза.

Имеется общая закономерность в распределении осадков на Кольском п-ове: чем выше находится местность, тем больше объем осадков. Наименьшее количество осадков (400—500 мм/г) выпадает в долинах рек и на равнинной части территории. В районах со сложным рельефом осадки распределяются неравномерно и составляют 600—800 мм/г, а на вершинах наиболее крупных горных массивов (Хибинские и Ловозерские тундры, Мончетундра и Чунатундра) превышают 1000 мм/г [1].

Годовой ход атмосферного давления для всех станций Мурманской области одинаков и аналогичен для других районов, расположенных вблизи Баренцева моря. Он имеет резко выраженный максимум в мае и минимумы в ноябре и январе. Значительное повышение давления в мае связано с заметным увеличением повторяемости антициклонов в этом месяце, при сохранении интенсивности последних, обычной для холодного полугодия [4].

Среднегодовая температура воздуха уменьшается от 0 °С на побережье Баренцева и Белого морей до -2 в центральной части Кольского п-ова и до -3-4 °С в горных районах. В целом в течение года над Мурманской областью преобладает морской воздух умеренных широт, что сглаживает температурный контраст между летним и зимним сезонами. Однако величина годовой амплитуды температуры воздуха больше, чем в регионах с типичным морским климатом. Степень континентальности климата закономерно возрастает от морского побережья в глубь территории Кольского полуострова [1].

Климат Архангельской области суровый, но смягчается влиянием Белого моря. Регион располагается в трех климатических поясах- можно выделить соответствующие области:

На севере региона субарктика, температуры зимой опускаются до -30°С, характерна смена полярного дня и ночи.

На побережье Белого моря умеренно-континентальный с чертами морского. Зимы мягче (от -8°С до -12°С), лето прохладное (от +12°С до +15°С). Сильные ветры и высокая влажность вызваны близостью к морю.

На юге климат более континентальный, из-за чего зимы снежные и холодные (до -15°С), а лето более теплое (от +15°С до +17°С).

Среднегодовое количество осадков в Ненецком автономном округе 300-400 мм, на юге области 500-550 мм. Вегетационный период продолжается 60 дней на крайнем северо-востоке и до 150 - на юге области [6].

Погода Архангельской области определяется по большей части влиянием циклонов, чем антициклонов. Преобладают западные атлантические циклоны, которые выносят зимой с Баренцева моря теплый и влажный воздух, что приводит к обилию снеговых осадков и метелей. Летом приносят влажный и прохладный воздух, смещаясь от Балтики к северу. При выходе Южных циклонов, в отдельные годы, из Средиземного

моря поступает теплый тропический воздух, значительно повышающий температуру до +25°C... +30°C [7].

Среднегодовая температура области имеет небольшую амплитуду: от +5°C на юге, до -3°C на севере (Ненецкий Автономный Округ). Безморозный период зависит от рельефа местности и составляет от 30 до 120 дней в году

1.4. Гидрография Мурманской и Архангельской областей

Моря: Мурманская область омывается Баренцевым и Белым морями, границей между которыми считается линия между мысами Святой Нос и Канин Нос [1].

Реки и озера: Густота речной сети значительна – рисунок 6. Общая протяженность русел рек превышает 50 тыс. км. Реки относятся к бассейну Белого и Баренцева морей. Все реки делятся на 4 основные группы: полуравнинные (Поной, Варзуга, Стрельна), реки-каналы (Нива, Варзина, Колвица), реки озерного типа (большинство рек: Восточная Лица, Рында, Умба, Дроздовка), реки горного типа (Малая Белая, Куна). Многие реки — Воронья, Нива, Умба и др. — берут начало из крупных озер. В Мурманской области находится 105 593 озера с площадью водного зеркала более 0,01 км², из них 15 712 — сточные. Большинство озер области — это лежащие в многочисленных глубоких котловинах тектонического происхождения бессточные водоемы протяженной формы со сложной береговой конфигурацией и глубинами свыше 25 м, среди них крупнейшие — Имандра (глубина — до 67 м), Умбозеро (до 115 м), Ловозеро (до 36 м) [1].



Рисунок 6 Карта водных ресурсов Мурманской области

Моря: Архангельская область омывается Белым, Карским, Печорским и Баренцевым морями. Так же побережье области омывают Онежская, Двинская, Мезенская, Чешская, Индигская, Горносталья, Колоколкова, Коровинская, Болванская, Паханчская, Печорская и Хайпудырская губы. Выделяют проливы: Югорский Шар, Карские ворота и Поморский. Обилие губ и проливов объясняется рельефом побережья, сформированным ледниковой, морской и речной деятельностью

Реки и озера: Почти все реки (кроме реки Илекса и нескольких соседних) относятся к бассейну Северного Ледовитого океана – рисунок 7; по крайней западной части области проходит континентальный водораздел между бассейнами Северного Ледовитого и Атлантического океанов. Архангельская область имеет густую гидрографическую сеть, она представлена многочисленными реками и озерами, обилием болот и подземных вод. Среди рек можно выделить самые крупные по стоку и

протяженности: Северная Двина – самая крупная река области. Годовой сток – 110 млрд. м³. Длина реки – 744 км, и на всем протяжении она судоходна. Гидрографическая система Северной Двины насчитывает до 600 рек. Река Пинега – правый приток Северной Двины, собирает на своем пути более 100 рек. Река Вычегда – правый приток Северной Двины. Верховье находится в Республике Коми (870 км). В пределах Архангельской области длина Вычегды составляет 226 км. Годовой сток определяется в 30 млрд. м³, при этом 60 % его приходится на весенний паводок. Река Мезень берет начало в Республике Коми и впадает в Мезенский залив. Длина составляет 966 км. Годовой сток – 28 млрд. м³. Река судоходна не по всей длине. Река Онега вытекает из озера Лача, а впадает в Онежскую губу Белого моря. Длина составляет 416 км, годовой сток – 16 млрд. м³. Имеет порожистый характер течения [5].



Рисунок 7 Карта водных ресурсов Архангельской области

ГЛАВА 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА БИФУРКАЦИИ

2.1 Исходные данные.

В качестве начальных данных были созданы архивы на базе данных ВНИИГМИ [11]. в MS EXCEL по исследуемым метеорологическим величинам для городов Мурманск и Архангельск таким как:

- Температура воздуха;
- количество атмосферных осадков;
- относительная влажность.

Температура воздуха - это физическая величина, используемая в метеорологии для характеристики степени нагретости атмосферного воздуха. Она отражает кинетическую энергию теплового движения молекул газов, составляющих воздух. Измеряется в градусах по Цельсию (°C), Фаренгейту (°F) и Кельвину (°K).

Относительная влажность - это безразмерная величина, выражаемая в процентах (%), которая показывает степень насыщения воздуха водяным паром относительно его максимально возможного насыщения при данной температуре.

Вычисляется по формуле:

$$\varphi = \frac{e}{E} \times 100\%$$

где,

E- Давление насыщения водяного пара (гПа),

e- Фактическое давление водяного пара (гПа).

Количество атмосферных осадков - это измеряемая высота слоя воды (в мм), образовавшегося на горизонтальной поверхности в результате выпадения жидких/твердых осадков за определённый промежуток времени, при условии отсутствия испарения, стока и просачивания в грунт. В метеорологии измеряется в миллиметрах (1мм осадков= 1 литр воды на площадку в 1 м²).

При помощи вышеупомянутых баз данных были созданы таблицы отражающие средние значения исследуемых метеорологических величин за каждый месяц в году за весь исследуемый период с 1964 года по 2024 год. Фрагмент таблицы на примере температуры воздуха в Архангельске приведен ниже:

год	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	за год	max значения	min значения
1964	-10.1	-11	-10	-1.2	7.9	12.7	16.7	14.7	7.2	3.2	-7.8	-8.7	1.1	16.7	-11
1965	-14.5	-17	-6.4	0.2	2.7	12.8	13.7	12.7	9.6	1.6	-8.6	-5.9	0.1	13.7	-17
1966	-21.4	-24	-12.2	-2.6	7	12.1	16.4	13.2	5.9	-0.6	-0.7	-14.8	-1.8	16.4	-24
1967	-16.9	-9.6	-0.5	3.4	6.4	11.7	15.5	17.4	9.3	4.6	0.1	-15.2	2.2	17.4	-16.9
1968	-24	-9.7	-4.9	-2.5	4.5	12.8	11.4	12.8	6.3	-2	-7	-10.2	-1.1	12.8	-24
1969	-19.9	-17.8	-9.6	-0.6	1.9	8.1	14.1	12.2	7.7	1.8	-2.3	-12	-1.4	14.1	-19.9
1970	-12	-15.4	-4.3	-1	5.3	13	18.1	13.2	9	3.1	-6.8	-8.2	1.2	18.1	-15.4
1971	-8.2	-16.1	-9	-2.7	3	9.8	14.1	12.9	7.4	-1.1	-6.2	-11.8	-0.7	14.1	-16.1
1972	-15.8	-9.8	-6.3	0	4.5	13.9	19.4	17.1	6.5	2.5	-7.5	-2.4	1.8	19.4	-15.8
1973	-13.1	-10.1	-6.5	1.8	8.6	14.4	15.6	12.9	4.3	-0.6	-7.1	-13.3	0.6	15.6	-13.3
1974	-13.7	-7.5	-2.6	-1.7	3.3	15.3	20	14.7	11.2	2.2	-6.3	-2.7	2.7	20	-13.7
1975	-9.9	-10.6	-1.5	1.9	9	11.5	15.9	11.3	10.7	0.5	-2.2	-6.6	2.5	15.9	-10.6
1976	-17.9	-12.6	-6.8	0.8	6.8	10.2	14.3	12.3	6.7	-1.6	-4.6	-5.9	0.1	14.3	-17.9
1977	-13.1	-13.1	-7.3	1.2	7.7	13.9	17.5	12.9	6.6	-1.4	-1.3	-10	1.1	17.5	-13.1
1978	-12.6	-17.7	-5.9	-3.4	5.6	10.1	13.6	11.2	7.1	1.3	-3.6	-21.4	-1.3	13.6	-21.4
1979	-16.3	-16.1	-5	-3.5	9.4	10.3	15.4	13.1	8.2	-1.5	-2	-7.3	0.4	15.4	-16.3
1980	-15.1	-10.4	-8.5	0.2	5.3	16	12.9	11.1	8.1	2.1	-8.3	-10.1	0.3	16	-15.1

Рисунок 8 Фрагмент таблицы температуры воздуха в Архангельске.

2014	-13.2	-6.6	-2.8	0.5	8	12.5	15.8	16.1	9.6	-1.6	-2.2	-6.9	2.4	16.1	-13.2
2015	-12.9	-5.9	-0.6	1.7	11.6	13.7	12.7	12.1	10.6	3	-3.4	-4.9	3.1	13.7	-12.9
2016	-18.2	-3.2	-2.4	3.7	11.5	13.7	19.2	16.1	9	3	-7.5	-7.3	3.1	19.2	-18.2
2017	-10	-8.2	-1.5	-1	3	9.7	17.7	15.5	7.7	2.7	-1.2	-4	2.5	17.7	-10
2018	-5.8	-13.3	-12	0.9	9.3	12.1	19.4	15.3	10.8	3.5	-1	-8.4	2.6	19.4	-13.3
2019	-12.8	-7.1	-3.6	1.7	8.4	13.3	13.5	11.4	9.1	1.6	-3.6	-2.8	2.4	13.5	-12.8
2020	-7	-4.9	-2	0	6.5	13.8	17	13.2	10.4	4.3	0.6	-7.7	3.7	17	-7.7
2021	-14.2	-19.6	-6	3.8	9.7	16.7	16.9	14.1	6.6	3.7	-3.6	-13.2	1.2	16.9	-19.6
2022	-9.6	-6.3	-4.9	0.3	6.8	14.6	19.3	17.4	8.2	5	-3.9	-8.9	3.2	19.3	-9.6
2023	-7.8	-8.1	-6	0.3	10.5	12	16.8	16.2	13	1.9	-5.9	-11	2.7	16.8	-11
2024	-13.1	-10.3	-2.4	-1	5.6	15.8	17.7	15.7	14.3	4	-0.3	-5.8	3.4	17.7	-13.1
	-13.0	-11.5	-5.6	0.3	7.0	13.0	16.3	13.5	8.4	2.1	-4.5	-9.2			

Рисунок 9 Фрагмент таблицы температуры воздуха в Архангельске.

Таблицы содержат в себе рассчитанные среднегодовые значения, среднемесячные значения, среднегодовые максимальные и минимальные значения исследуемых метеорологических величин за период с 1964 года по 2024 год – рисунки 8, 9, для двух городов – Мурманск и Архангельск. Также для всех графиков, отражающих динамику хода среднегодовых значений величин, были рассчитаны тренды, которые проверены на статистическую значимость. Описание методики проверки на значимость приведено ниже в анализе исследуемых метеорологических величин.

2.2. Методика нахождения точки бифуркации.

Для выполнения поиска момента смены динамики был использован метод бифуркации. Его описание представлено ниже:

Климатические факторы и метеорологические элементы характеризуются значительной изменчивостью, имеющей сложную стохастически-детерминированную физическую природу. Соотношение случайной и закономерной составляющих общей изменчивости временного ряда оценивается путем выявления и удаления статистически значимых монотонных и циклических трендов [10].

В основе алгоритма определения положения точек бифуркации лежит сравнение между собой разных отрезков временного ряда. Решение данной задачи заключается в замене отрезков временного ряда их математической моделью. В качестве моделей могут быть использованы полиномы разных степеней, начиная от полинома нулевой степени. Таким образом, определение положения точек бифуркации включает следующие этапы:

- формирование на основе прямого перебора отрезков разной длины;
- построение для них математических моделей;
- оценка успешности каждого такого разбиения с помощью одного или нескольких количественных критериев, рассчитываемых с использованием соответствующих метрик [8].

При помощи метода бифуркации для определения ускорения или ослабления тенденции динамики хода метеорологических величин составлены графики до и после прохождения точки бифуркации для среднегодовых значений анализирующихся параметров, перечисленных выше.

ГЛАВА 3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В МУРМАНСКЕ И АРХАНГЕЛЬСКЕ.

3.1. Исследование Температуры воздуха в Архангельске и Мурманске.

Проведен анализ среднемесячного хода температуры воздуха за период в 60 лет в Архангельске:

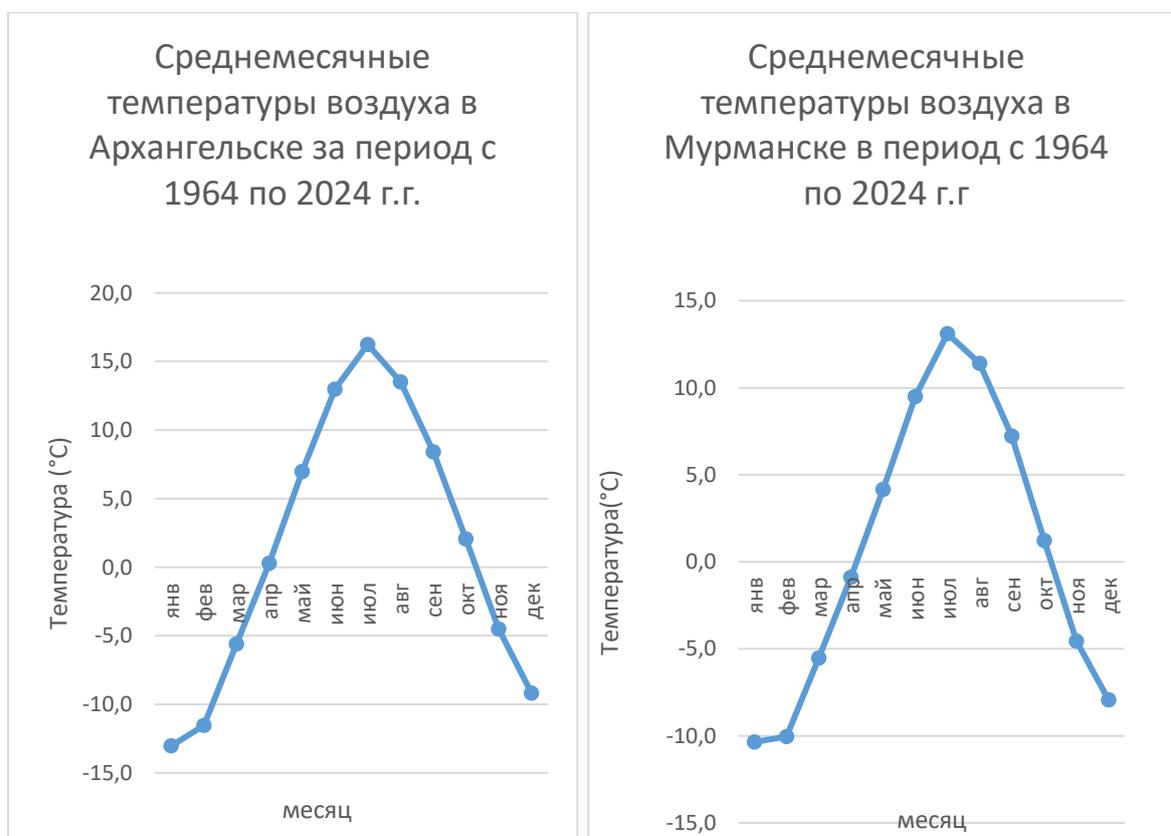


Рисунок 10, 11 Среднемесячный ход температуры воздуха в Архангельске и Мурманске за период с 1964 года по 2024 год.

По данным графиков для двух городов можно определить месяцы с максимальным и минимальным значением инсоляции:

Самый жаркий месяц в году в среднем – Июль (+16.3 °C) в Архангельске; (+13.1 °C) в Мурманске,

Самый холодный месяц в году в среднем – Январь (-13.0 °C) в Архангельске; (-10.4 °C) в Мурманске.

Помимо этого, был составлен график минимальных и максимальных значений среднегодового хода температур воздуха в пределах Архангельска за заданный период.

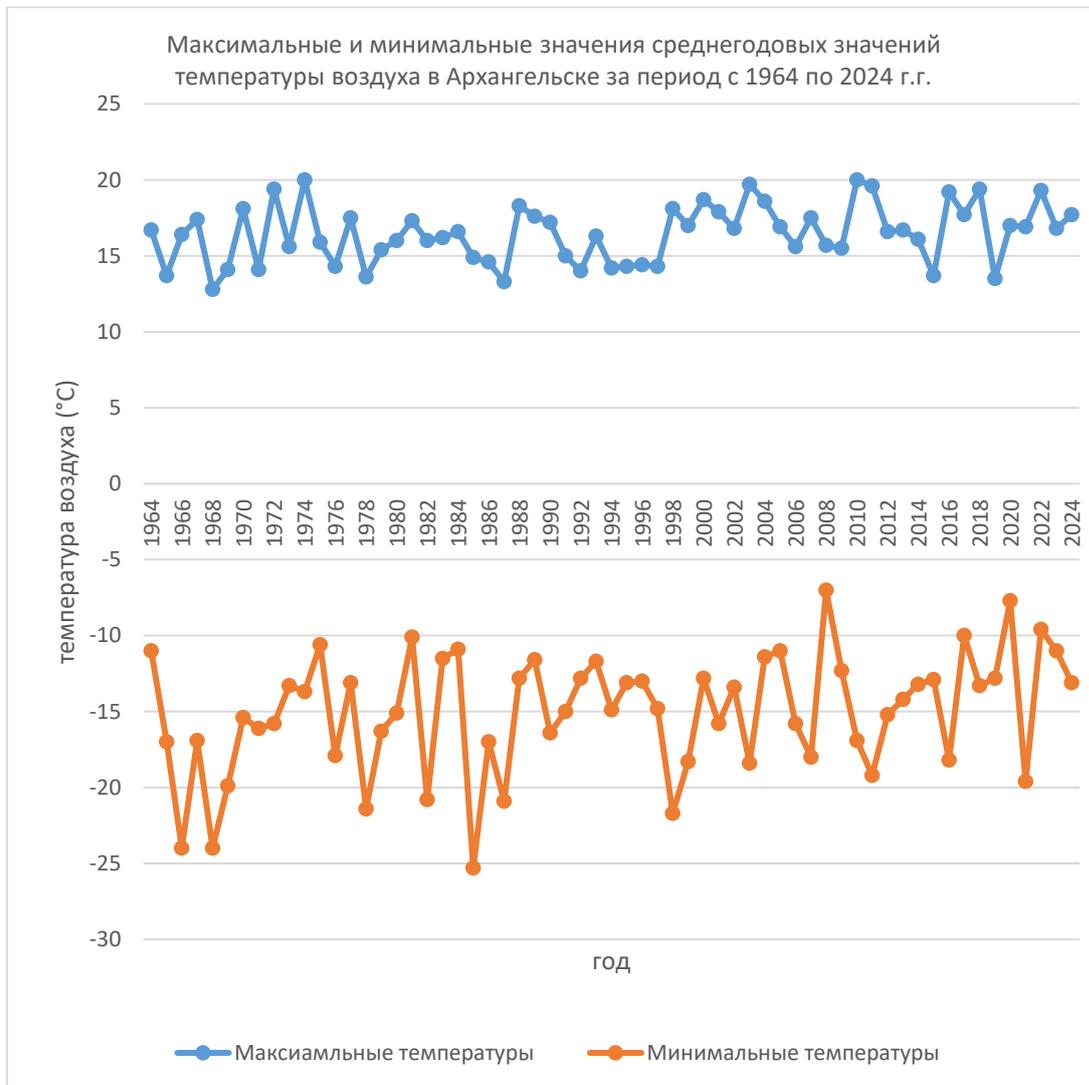


Рисунок 11 Ход минимальных и максимальных значений среднегодового хода температуры воздуха в Архангельске с 1964года по 2024 год

Амплитуда хода минимальных температур значительно больше амплитуды максимальных температур. Данная особенность вызвана климатическими и географическими условиями этого региона. Зима снежная и холодная, а лето прохладное и влажное из-за влияния атлантических циклонов, приносящих влажный воздух с Баренцева моря.

Помимо этого, составлен график хода максимальных и минимальных значений температуры воздуха в Мурманске с 1964 по 2024 год.

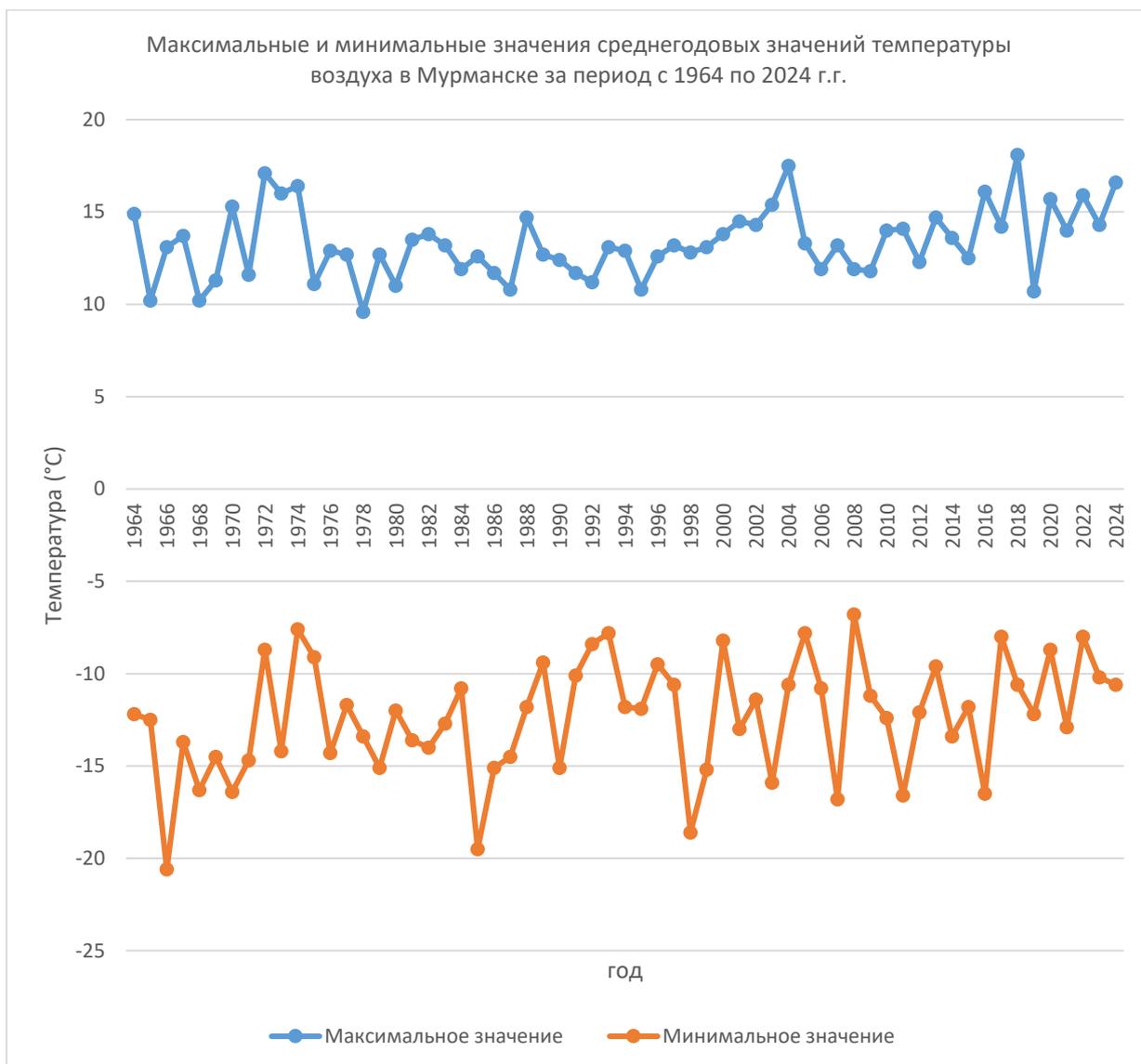


Рисунок 12 Ход максимальных и минимальных среднегодовых значений температуры воздуха в Мурманске с 1964 года по 2024 год.

На данном графике ход минимальных значений имеет ярко выраженную амплитуду, в отличие от хода максимальных значений.

Также составлен график среднегодового хода температуры в

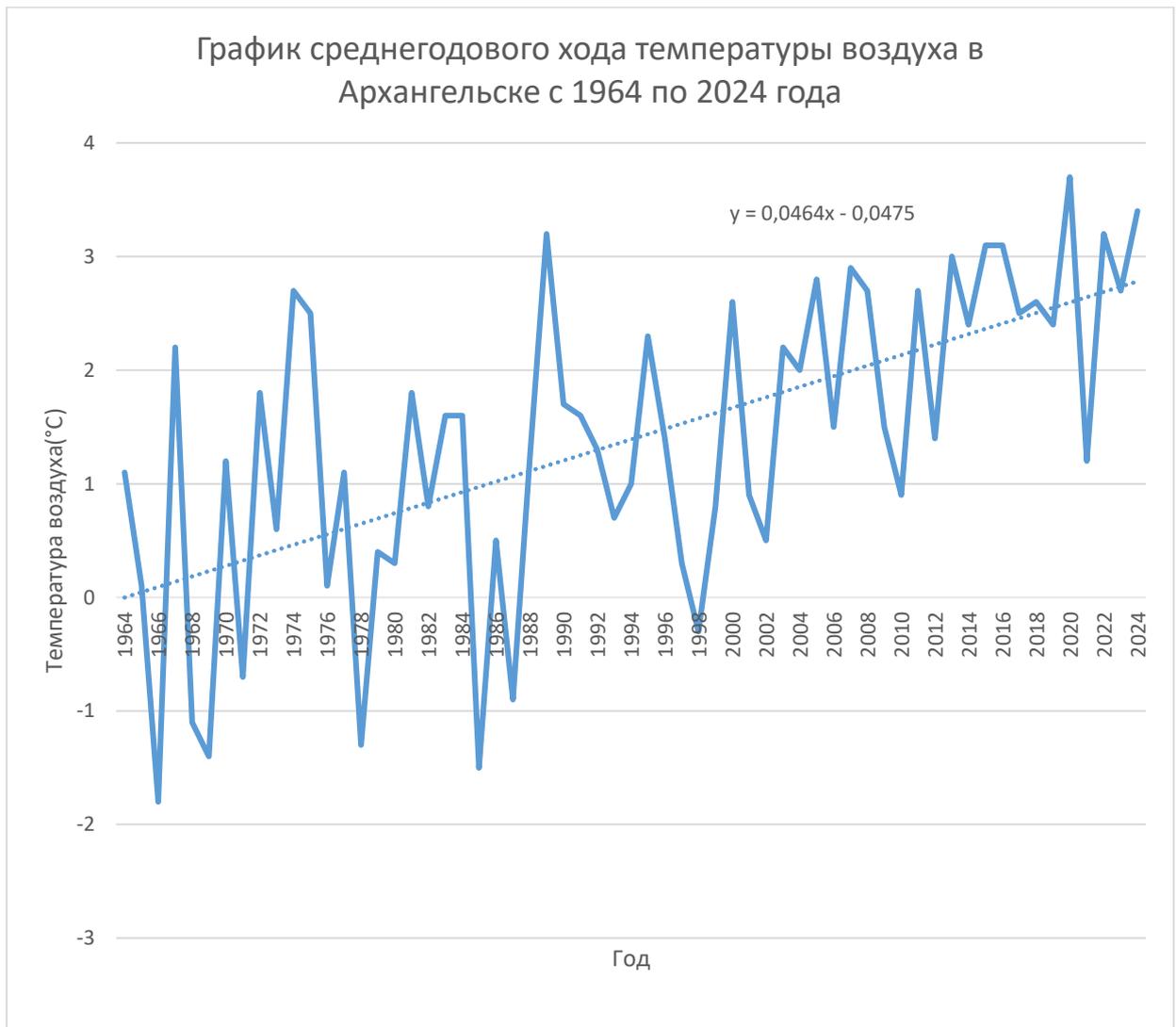


Рисунок 13 Ход среднегодовых значений температуры воздуха в Архангельске с 1964 по 2024 года

Данный график описывает ход среднегодовой температуры воздуха за весь исследуемый период с 1964 года по 2024 год. По его данным можно сделать вывод, что динамика исследуемой метеорологической величины имеет тенденцию на повышение, с зарегистрированными максимумами в 1989 году (3,2 °C), в 2020 году (3,7 °C) и минимумами в 1966 году (-1,8 °C), -1,5 (°C), в 1985 году (-1,5°C), амплитуда значений слабо выражена.

За весь исследуемый период температура воздуха росла со скоростью 0.4 °C за 10 лет, что, в свою очередь, привело к возросшей на 2,7 °C средней температуры воздуха в Архангельской области в настоящее время.

Для того чтобы убедиться в существовании тенденции на повышение температуры воздуха была проведена оценка значимости регрессионной модели при помощи критерия Фишера:

Регрессионная статистика							
Множеств	0.6102						
R-квадрат	0.37235						
Нормиров	0.36171						
Стандартн	1.07798						
Наблюден	61						
Дисперсионный анализ							
	df	SS	MS	F	Значимость F		
Регрессия	1	40.6731	40.6731	35.0012	1.78E-07		
Остаток	59	68.561	1.16205				
Итого	60	109.234					
Коэффициентная статистика - Значение							
	df	SS	MS	F	нижние 95%	верхние 95%	нижние 95.0%
Y-пересеч	-91.0867	15.6318	-5.82702	2.5E-07	-122.366	-59.8076	-122.366
Переменн	0.04638	0.00784	5.91618	1.8E-07	0.03069	0.06206	0.03069

Рисунок 14 Проверка значимости тренда на графике среднегодового хода температуры воздуха в Архангельске с 1964 года по 2024 год

Методика проверки на статистическую значимость тренда при помощи критерия Фишера:

Оценка значимости тренда проводится через сравнение числового значения параметра «Значимость F» с уровнем значимости регрессионной модели равным 0.05. При сравнении данных величин «Значимость F» сильно меньше уровня значимости, из чего можно сделать соответствующий вывод о том, что модель статистически значима и полезна для прогнозирования.

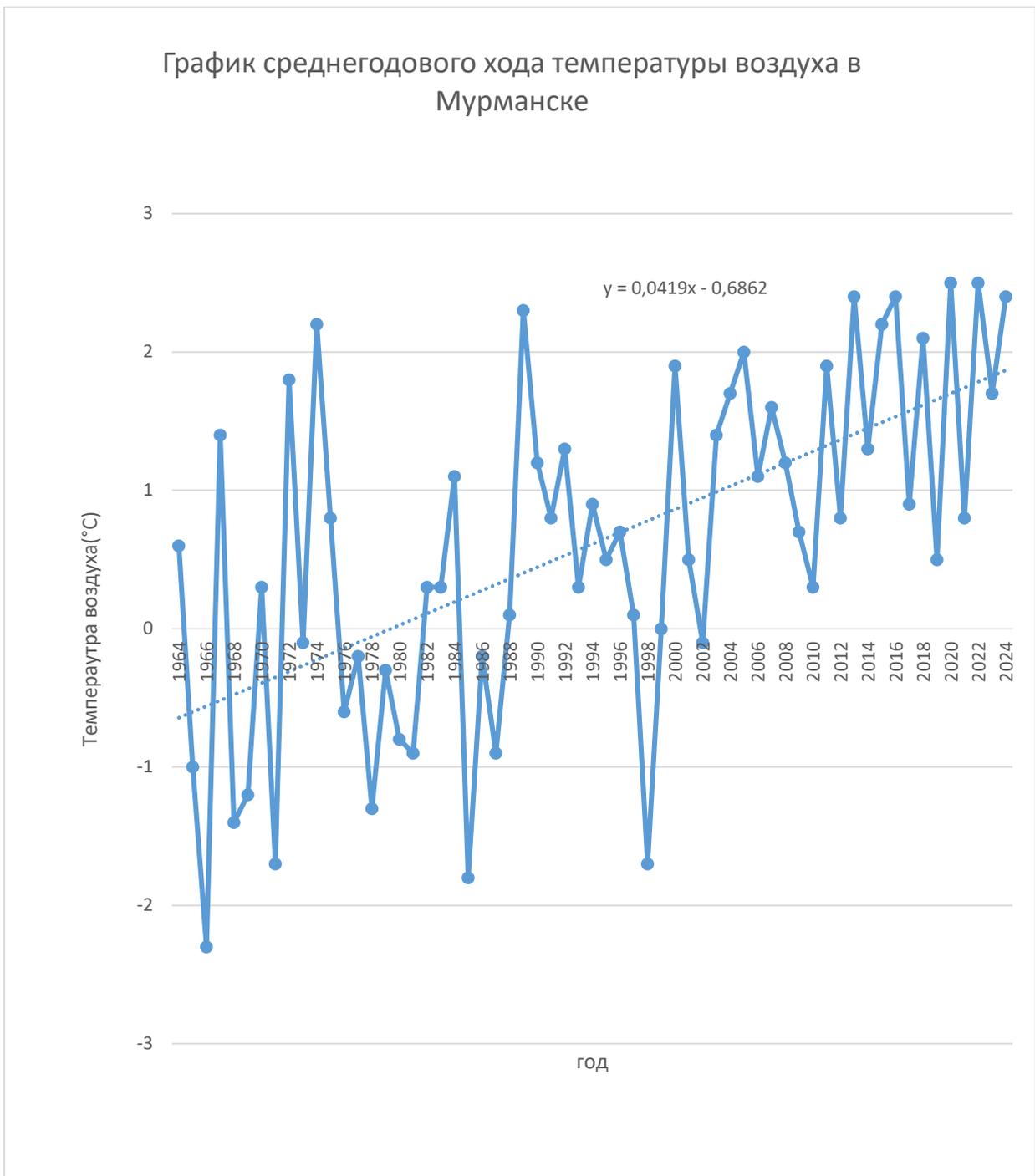


Рисунок 15 Ход среднегодовых значений температуры воздуха в Мурманске с 1964 года по 2024 год.

Данный график описывает ход среднегодовых значений температуры воздуха в Мурманске за исследуемый период с 1964 года по 2024 год. По его данным можно сделать вывод, что динамика исследуемой метеорологической величины имеет тенденцию на повышение, с зарегистрированными максимумами в 2020 году (+2.5 °C),

в 2022 году (+2.5 °С) и минимумами в 1966 году (-2.3 °С), в 1985 году (-1.8 °С). Амплитуда значений слабо выражена.

За весь исследуемый период температура воздуха росла со скоростью 0.4 °С за 10 лет, что, в свою очередь, привело к возросшей на 2,5 °С средней температуры воздуха в Мурманской области в настоящее время.

Для того чтобы убедиться в существовании тенденции на повышение температуры воздуха была проведена оценка значимости регрессионной модели при помощи критерия Фишера:

Регрессионная статистика								
Множественный R	0.60113							
R-квадрат	0.36136							
Нормированный R-квадрат	0.35054							
Стандартная ошибка	0.9963							
Наблюдения	61							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	значимость F			
Регрессия	1	33.1375	33.1375	33.384	3.01E-07			
Остаток	59	58.5644	0.99262					
Итого	60	91.702						
Коэффициентная статистика - Значения ниже 95% верхние 95% нижние 95% (верхние 95.0%								
Y-пересечение	-82.8603	14.4473	-5.73534	3.5E-07	-111.769	-53.9512	-111.769	-53.9512
Переменная	0.04186	0.00725	5.77789	3E-07	0.02736	0.05636	0.02736	0.05636

Рисунок 16 Проверка значимости тренда на графике хода среднегодовых значений температуры воздуха в Мурманске с 1964 года по 2024 год.

Данные расчета показывают, что значение «значимость F» значительно меньше значения уровня значимости регрессионной модели равного 0.05, из чего следует вывод о том, что модель статистически значима и полезна для прогнозирования.

3.2. Исследование количества атмосферных осадков в Архангельске и Мурманске.

Составлен график среднемесячного хода данной метеорологической величины:

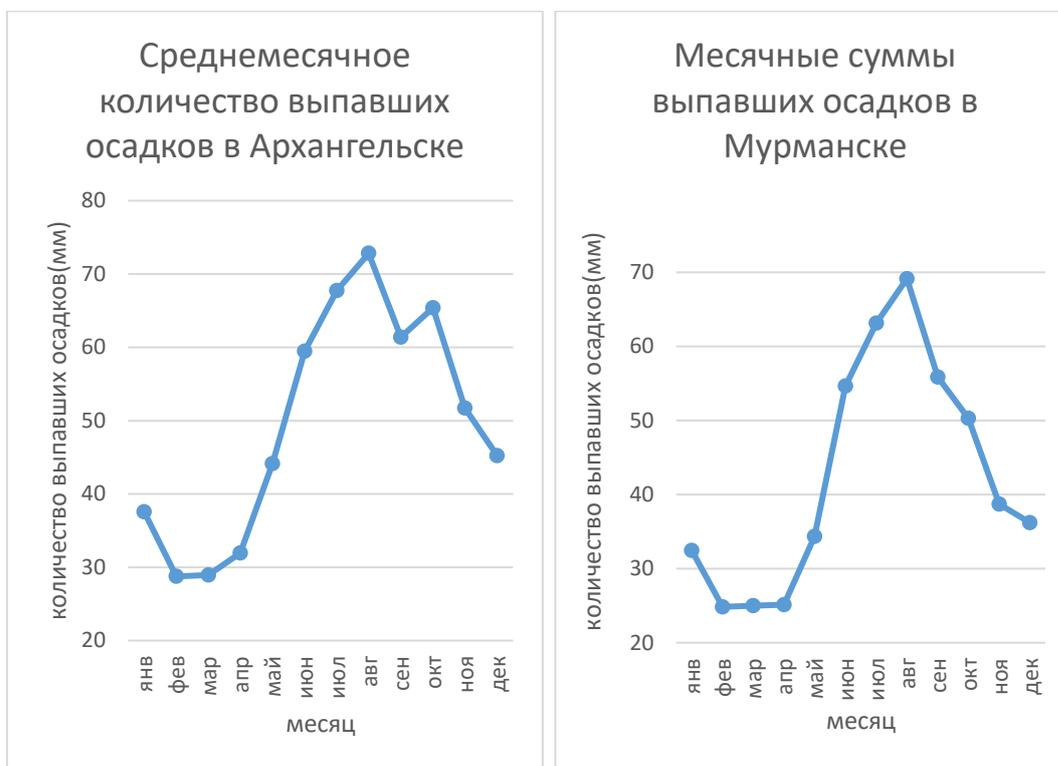


Рисунок 17, 18 График среднемесячных значений количества выпавших атмосферных осадков с 1964 года по 2024 год в Архангельске и Мурманске.

По данным графика можно выделить месяцы с наибольшим и наименьшим значением выпавших атмосферных осадков:

Самый влажный месяц – Август (73 мм) в Архангельске; (69 мм) в Мурманске,

Самый сухой месяц – Февраль (29 мм) в Архангельске; (25 мм) в Мурманске.

Помимо этого, построен график минимальных и максимальных значений количества атмосферным осадков в пределах Архангельска за заданный период.

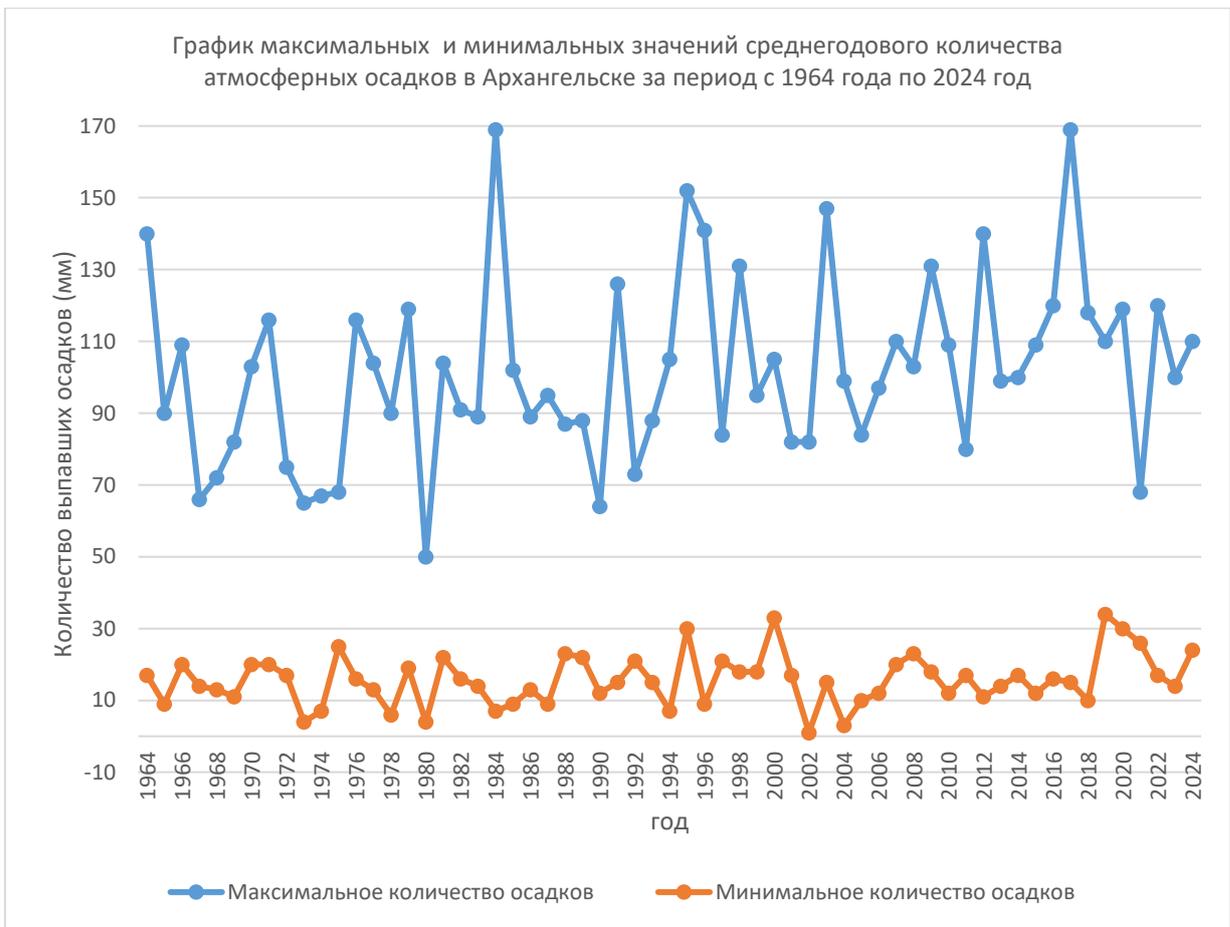


Рисунок 12 Ход минимальных и максимальных значений количества осадков в Архангельске с 1964 по 2024 год.

По графику хода минимальных значений количества осадков можно сделать вывод, что амплитуда небольшая, значения в среднем ограничиваются 10 ... 20 миллиметрами, тогда как амплитуда максимальных значений количества выпавших атмосферных осадков больше её почти в 2 раза. Данная особенность обусловлена тем, что на протяжении всех времен года регион находится под влиянием западных ветров, приносящих циклоны с влажным воздухом из Атлантики, чему также способствует прибрежное положение Архангельской области.

Также был построен график хода среднегодовых минимальных и максимальных значений количества осадков в Мурманске за исследуемый период.

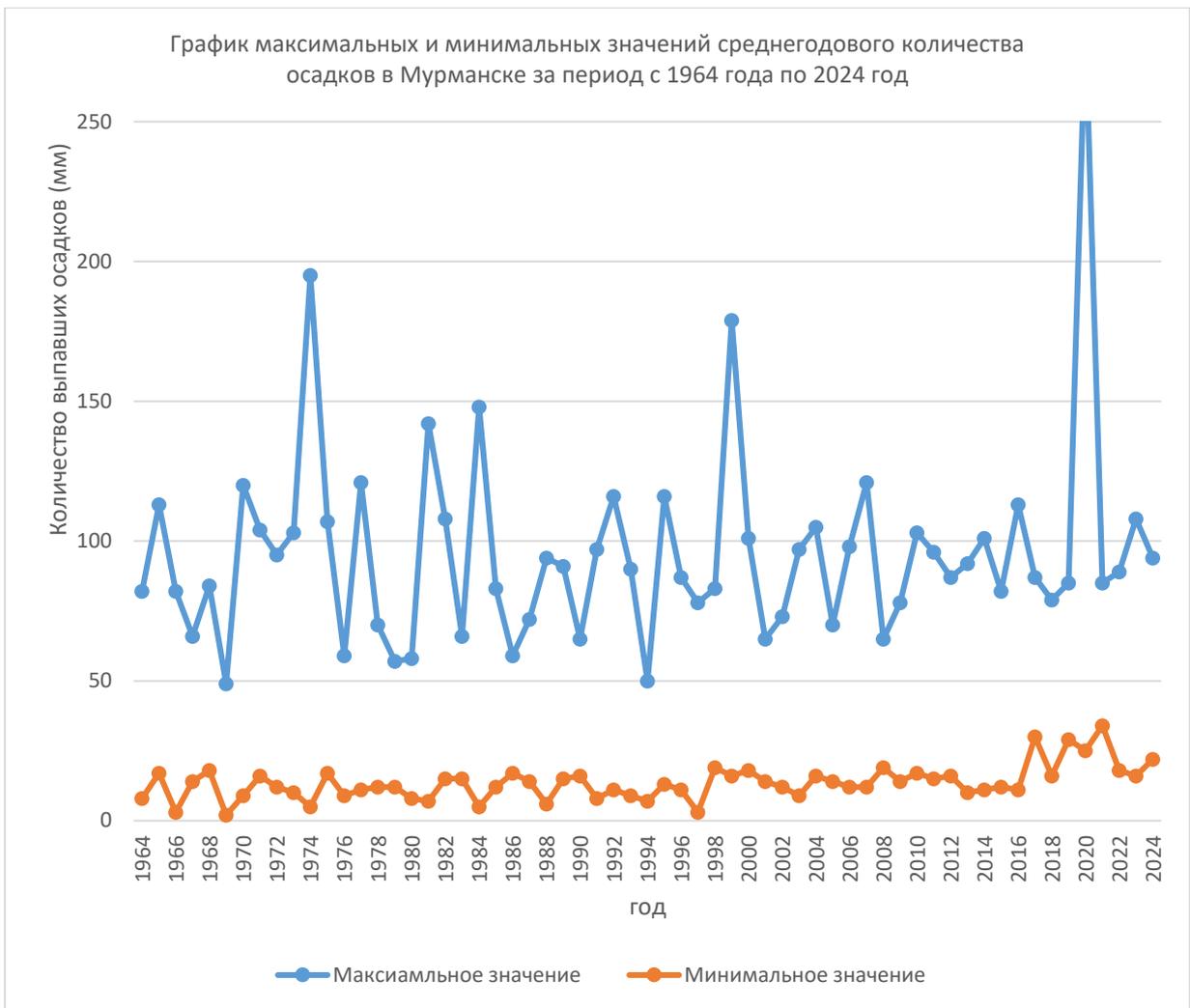


Рисунок 20 Ход среднегодовых минимальных и максимальных значений количества атмосферных осадков в Мурманске с 1964 года по 2024 год.

Из данных графика следует вывод, что амплитуда минимальных значений количества атмосферных осадков значительно меньше амплитуда максимальных значений данной метеорологической величины.

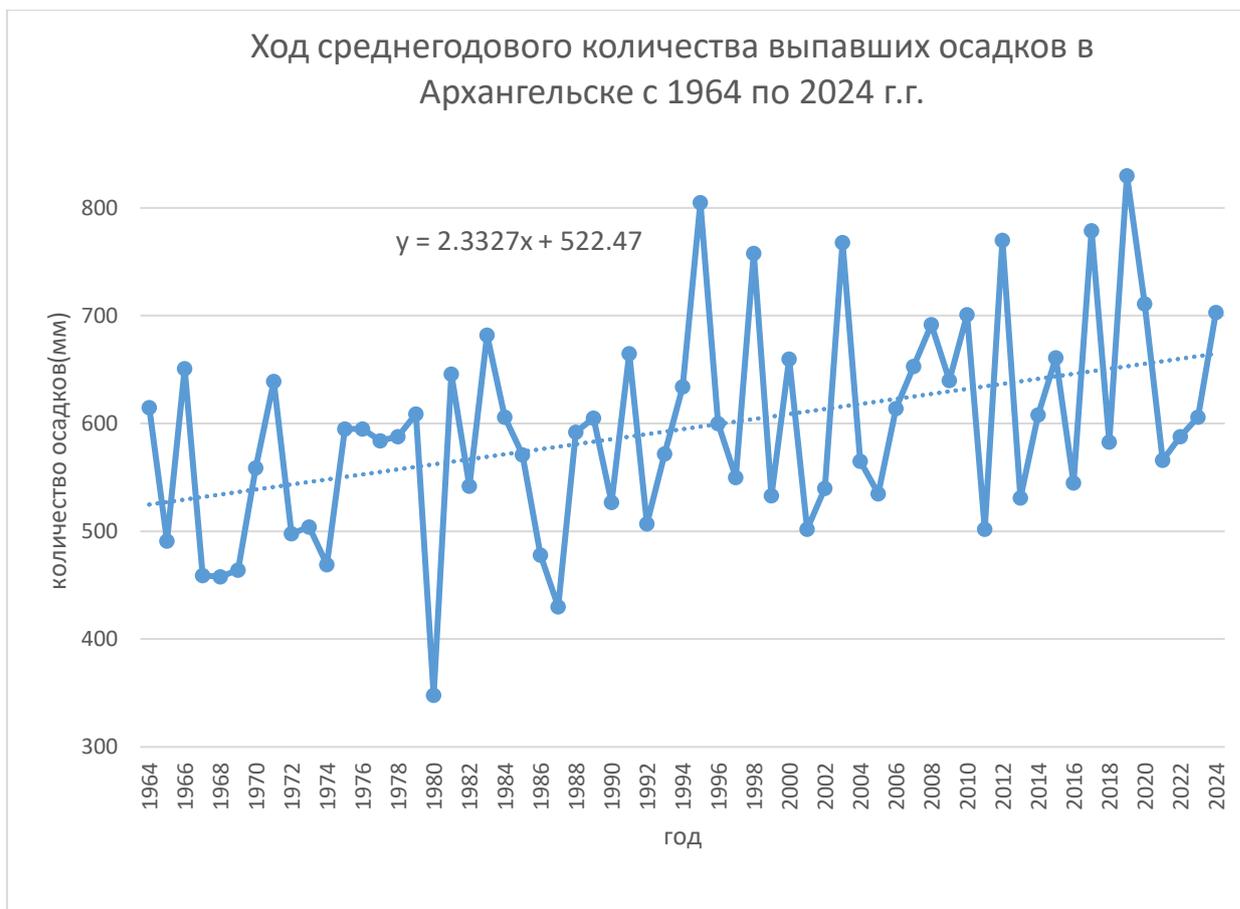


Рисунок 13 Ход среднегодового количества выпавших осадков в Архангельске с 1964 по 2024 год.

Данный график описывает динамику среднегодовых значений сумм выпавших осадков в Архангельске за период с 1964 года по 2024 год. Опираясь на ход тренда график имеет положительную динамику, из чего можно сделать вывод о повышении режима осадков. Можно выделить зарегистрированные максимумы в 1995 (805 мм), в 2019 (830 мм) и минимумы в 1980 (348 мм) и в 1987 (430 мм). Амплитуда ярко выражена, из-за скачкообразного вида графика.

За весь исследуемый период количество атмосферных осадков росло со скоростью 23.3 мм в 10 лет, что привело к увеличению данной метеорологической величины на 139.7 мм в настоящее время.

Для того чтобы убедиться в существовании тенденции на повышение температуры воздуха была проведена оценка значимости регрессионной модели при помощи критерия Фишера:

Вывод итогов								
<i>Регрессионная статистика</i>								
Множественный коэффициент	0.428653							
R-квадрат	0.183744							
Нормированный коэффициент	0.169909							
Стандартная ошибка	88.02016							
Наблюдения	61							
<i>Дисперсионный анализ</i>								
	df	SS	MS	F	значимость F			
Регрессия	1	102896.9	102896.9	13.28122	0.000568			
Остаток	59	457105.3	7747.548					
Итого	60	560002.2						
<i>Коэффициент стандартной ошибки</i>								
Y-пересеч	-4056.58	1276.375	-3.1782	0.00236	-6610.6	-1502.56	-6610.6	-1502.56
Переменная	2.332681	0.640083	3.644341	0.000568	1.051878	3.613484	1.051878	3.613484

Рисунок 14 Проверка значимости тренда на графике среднегодового количества осадков в Архангельске с 1964 года по 2024 год

Данные расчета показывают, что значение «значимость F» в 10 раз меньше значения уровня значимости регрессионной модели равного 0.05, из чего следует вывод о том, что модель статистически значима и полезна для прогнозирования.



Рисунок 23 График хода среднегодовых значений количества атмосферных осадков в Мурманске с 1964 года по 2024 год.

Построенный график описывает ход среднегодовых значений количества атмосферных осадков в Мурманске за период с 1964 года по 2024 год. По данным графика можно сделать вывод о том, что его ход имеет положительную динамику, с зарегистрированными максимумами в 2020 году (829 мм), в 2016 году (658 мм) и минимумами в 1969 (313 мм), в 1994 году (355 мм).

За весь исследуемый период количество атмосферных осадков росло со скоростью 22 миллиметра за 10 лет, что, в свою очередь, привело к возросшей на 131.5 миллиметра средней температуры воздуха в Мурманской области в настоящее время.

Для того чтобы убедиться в существовании тенденции на повышение температуры воздуха была проведена оценка значимости регрессионной модели при помощи критерия Фишера:

Регрессионная статистика								
Множественный коэффициент	0.429974							
R-квадрат	0.184878							
Нормированный коэффициент	0.171062							
Стандартная ошибка	82.45073							
Наблюдения	61							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	значимость F			
Регрессия	1	90970.84	90970.84	13.38176	0.000543			
Остаток	59	401089.2	6798.122					
Итого	60	492060.1						
Коэффициент стандартная ошибка t-Значение нижние 95% верхние 95% нижние 95.0% верхние 95.0%								
Y-пересеч	-3864.15	1195.614	-3.23194	0.002013	-6256.57	-1471.74	-6256.57	-1471.74
Переменная	2.193337	0.599582	3.658109	0.000543	0.993576	3.393098	0.993576	3.393098

Рисунок 24 Проверка значимости тренда на графике хода среднегодовых значений количества атмосферных осадков в Мурманске с 1964 года по 2024 год.

Данные расчета показывают, что значение «значимость F» в 100 раз меньше значения уровня значимости регрессионной модели равного 0.05, из чего следует вывод о том, что модель статистически значима и полезна для прогнозирования.

3.3 Исследование относительной влажности в Архангельске и Мурманске.

Был построен график среднемесячных значений относительной влажности в Архангельске за исследуемый период.

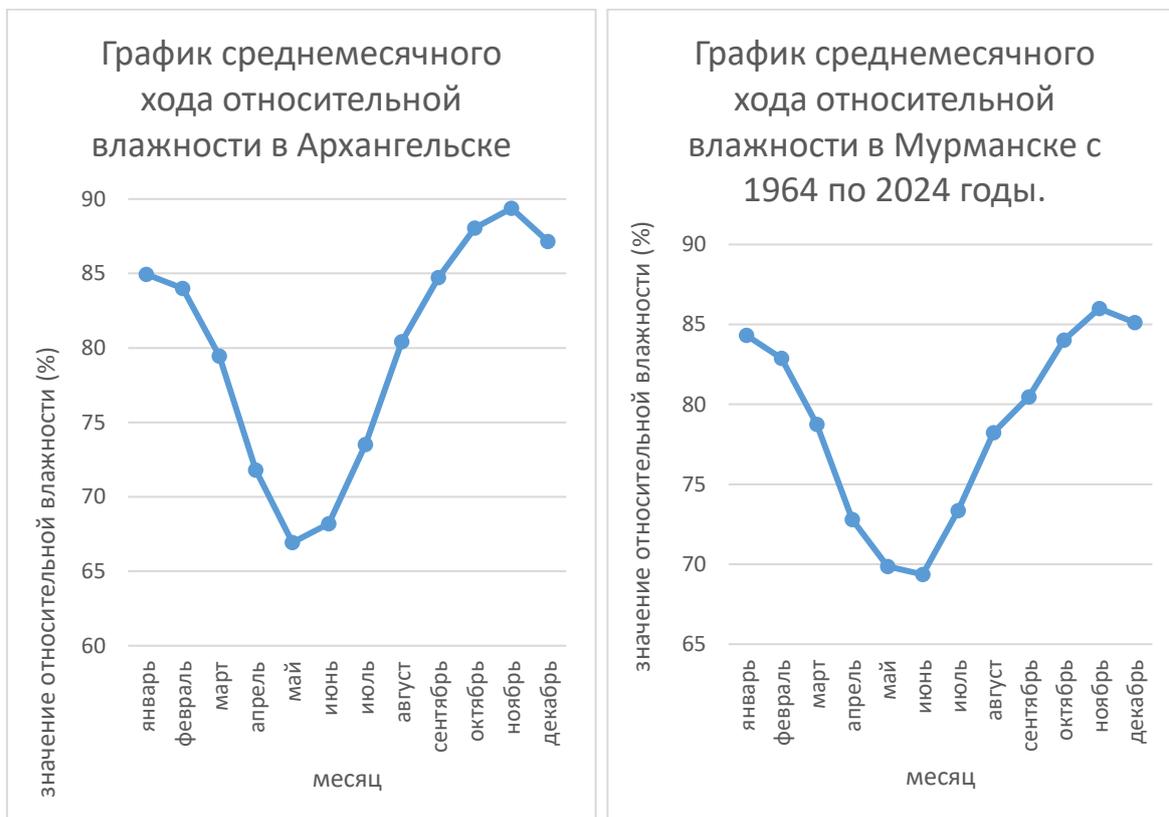


Рисунок 25, 26 График хода среднемесячных значений относительной влажности в Архангельске и Мурманске с 1964 года по 2024 год.

По данным графика можно выделить месяцы с наибольшим и наименьшим количеством относительной влажности:

Самый влагонасыщенный месяц – Ноябрь (89 %) в Архангельске; (86%) в Мурманске,

Самый аридный месяц – Май (67 %) в Архангельск; Июнь (69%) в Мурманске.

Также построен график хода минимальных и максимальных значений данной метеорологической величины в Архангельске с 1964 года по 2024 год.

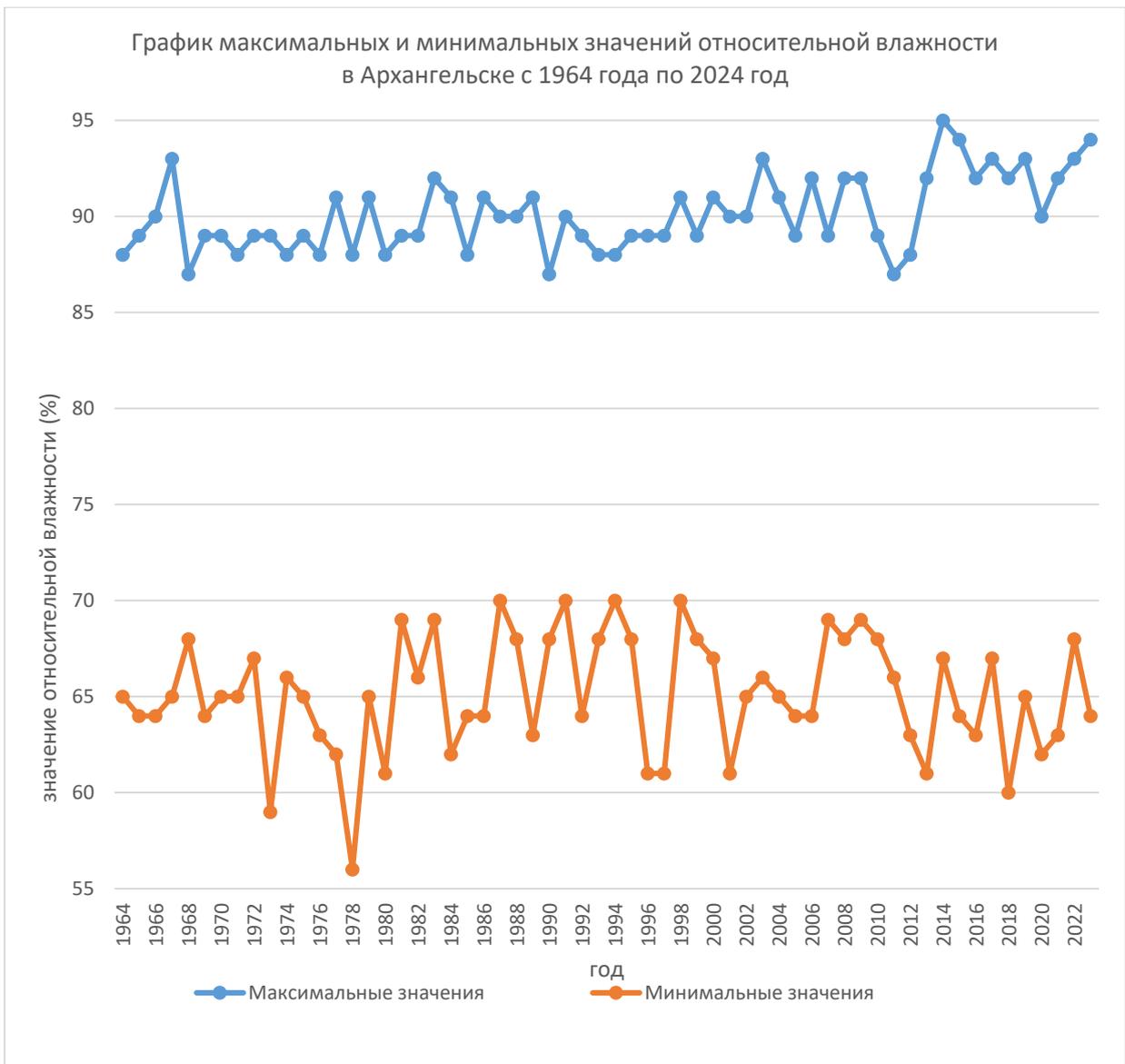


Рисунок 27 График хода максимальных и минимальных значений относительной влажности в Архангельске с 1964 года по 2024 год.

По данным графика можно сделать вывод, что амплитуда максимальных значений почти в 1.5 раза меньше амплитуды минимальных значений.

Также построен график хода минимальных и максимальных значений среднегодовой относительной влажности в пределах Мурманска за период с 1964 года до 2024 года.

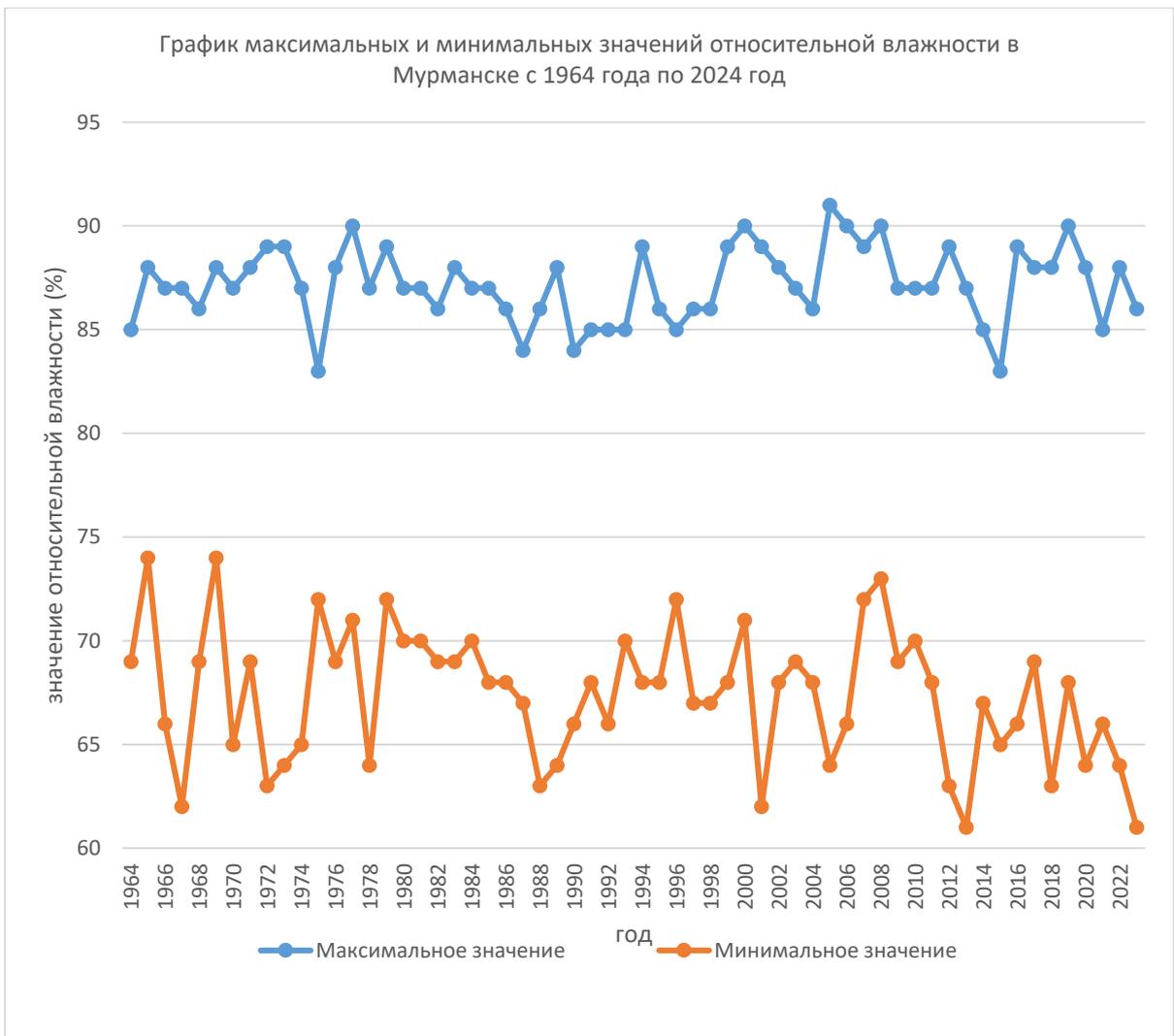


Рисунок 28 График хода максимальных и минимальных значений относительной влажности в Мурманске с 1964 года по 2024 год.

По данным графиков можно сделать вывод о том, что амплитуда минимальных значений примерно в 2 раза больше амплитуды минимальных значений.

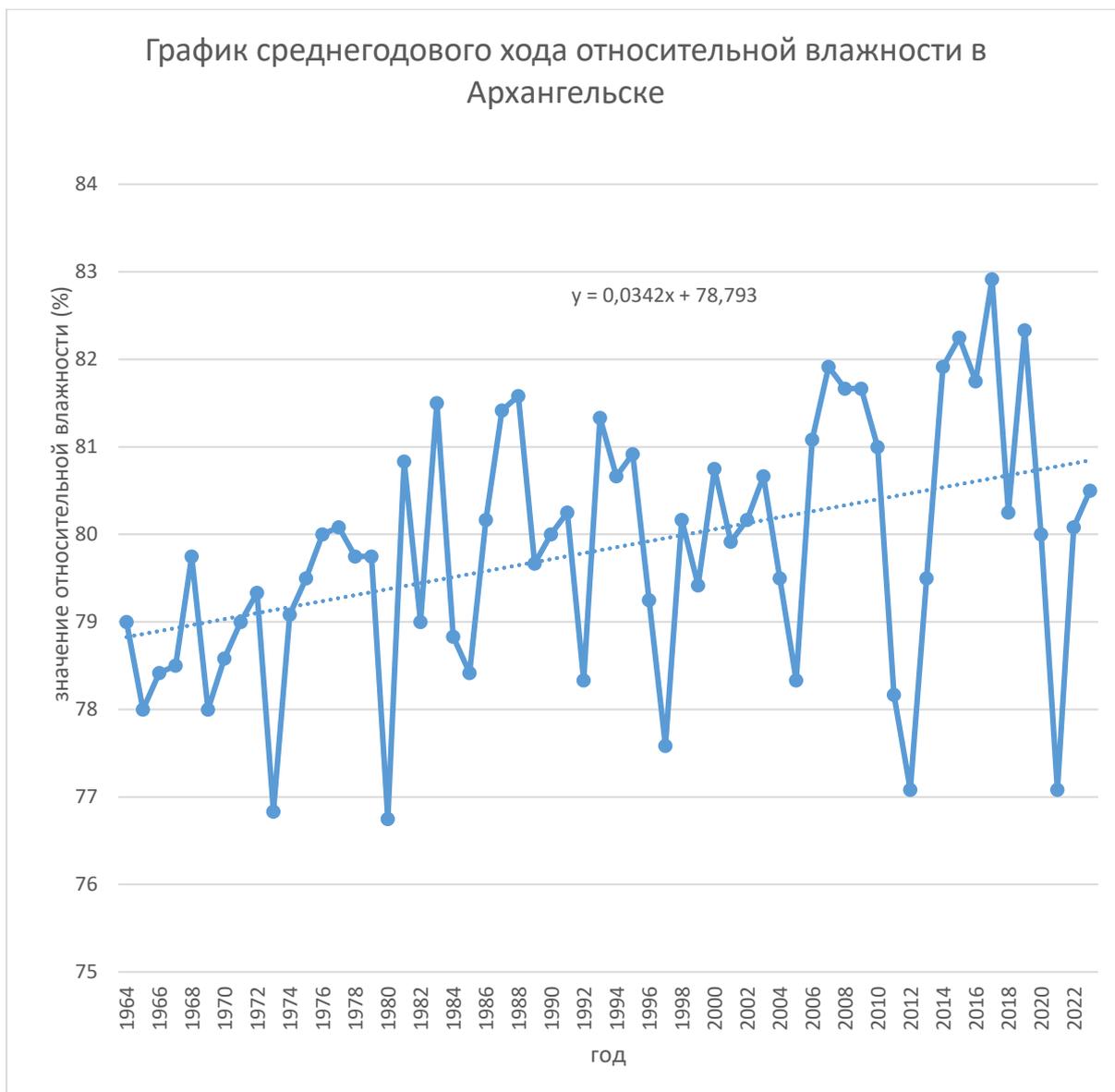


Рисунок 29 График хода среднегодовых значений относительной влажности в Архангельске с 1964 года по 2024 год.

Построенный график описывает ход среднегодовых значений относительной влажности в Архангельске за период с 1964 года по 2024 год. По данным графика можно сделать вывод о том, что его ход имеет положительную динамику, с зарегистрированными максимумами в 2017 году (83%), в 2019 году (82%) и минимумами в 1973 году и 1980 году со значениями 77 %.

За весь исследуемый период значение относительной влажности росло со скоростью 0,3 % за 10 лет, что привело к возросшей на 2% относительной влажности в Архангельске в настоящее время.

Для того чтобы убедиться в существовании тенденции на повышение температуры воздуха была проведена оценка значимости регрессионной модели при помощи критерия Фишера:

Регрессионная статистика									
Множественный коэффициент	0.41076								
R-квадрат	0.16872								
Нормированный коэффициент	0.15439								
Стандартная ошибка	1.3373								
Наблюдения	60								
Дисперсионный анализ									
	df	SS	MS	F	значимость F				
Регрессия	1	21.0525	21.0525	11.772	0.00111				
Остаток	58	103.725	1.78836						
Итого	59	124.777							
Коэффициентная статистика									
	df	SS	MS	F	значимость F	Верхние 95%	Нижние 95%	Верхние 95.0%	Нижние 95.0%
Y-пересечение	1	11.6505	11.6505	0.56	0.456	-28.1315	28.1315	-28.1315	28.1315
Переменная	1	0.0342	0.0342	0.00111	0.31425	0.05416	0.05416	0.01425	0.05416

Рисунок 30 Проверка значимости тренда на графике хода среднегодовых значений относительной влажности в Архангельске с 1964 года по 2024 год.

Данные расчета показывают, что значение «значимость F» в 10 раз меньше значения уровня значимости регрессионной модели равного 0.05, из чего следует вывод о том, что модель статистически значима и полезна для прогнозирования.



Рисунок 31 График хода среднегодовых значений относительной влажности в Мурманске с 1964 года по 2024 год.

Построенный график описывает ход среднегодовых значений относительной влажности в Мурманске за период с 1964 года по 2024 год. График тренда имеет отрицательную слабовыраженную динамику, однако при проверке вышеупомянутого на значимость, модель оказалась статистически не значима, из чего нельзя сделать четкий вывод о характере поведения хода исследуемой метеорологической величины, однако значения не составляли менее 75 миллиметров (в 2015 году) и не превышали 82 миллиметров (в 2008 году).

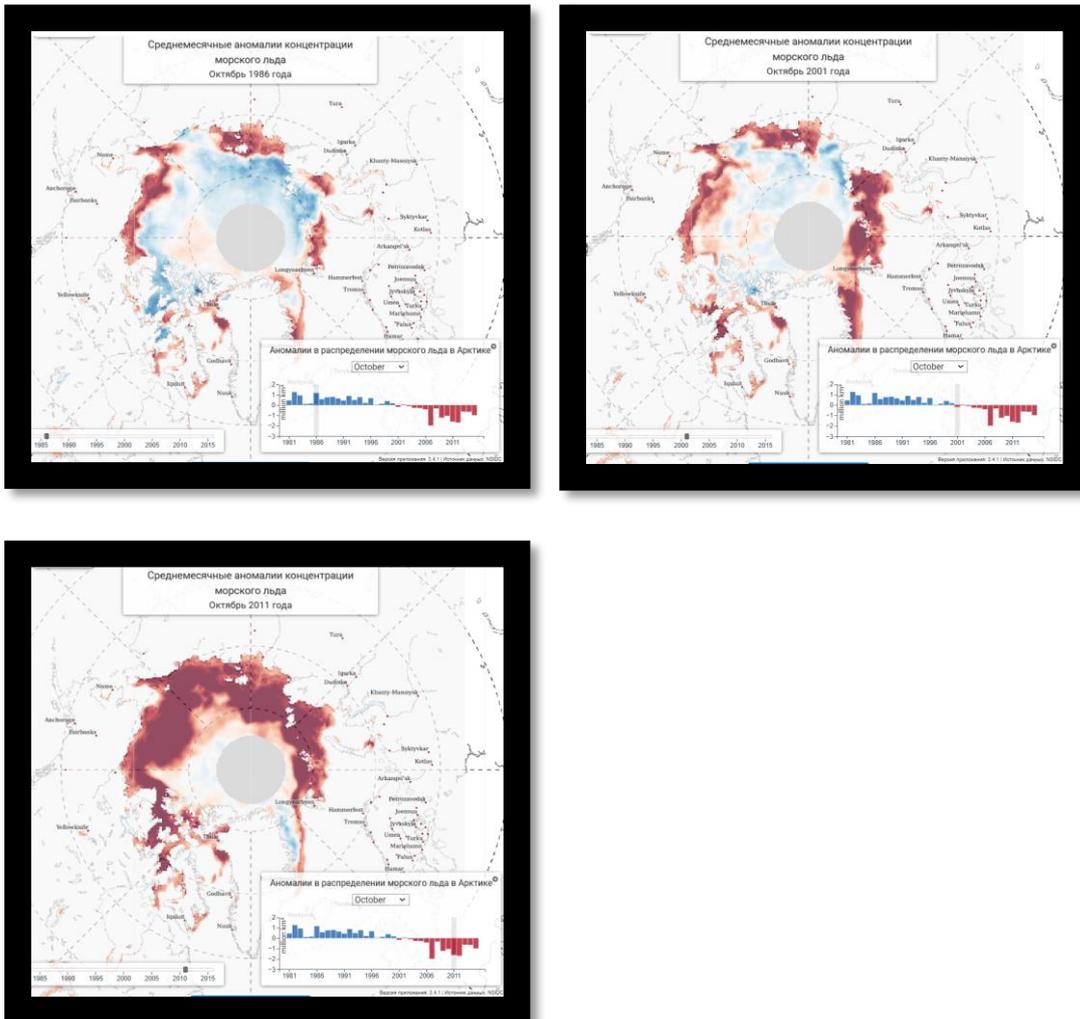
Анализ скорости изменения исследуемых метеорологических величин приведен ниже в таблице:

№	Параметр	Скорость изменения параметра	
		Архангельск	Мурманск
1	Температура (/год)	0.04	0.04
2	Количество осадков(мм/год)	2.33	2.19
3	Относительная влажность (%/год)	0.03	-0.01

Жирным шрифтом выделены значения значимых трендов.

Рисунок 32 таблица скорости изменения параметра

3.4. Исследование ледового покрова в Арктике.



По данным карт сайта Национальный центр обработки данных по снегу и льду можно сделать вывод о том, что, начиная с 2000 года и по сей день концентрация морского льда в акватории Арктики стремительно сокращается.

3.5. Нахождение точек бифуркации.

Пользуясь методикой, описанной во второй главе произведен поиск точек бифуркации для среднегодового хода исследуемых метеорологических величин.

Оценка темпа роста динамики температуры воздуха в Архангельске:

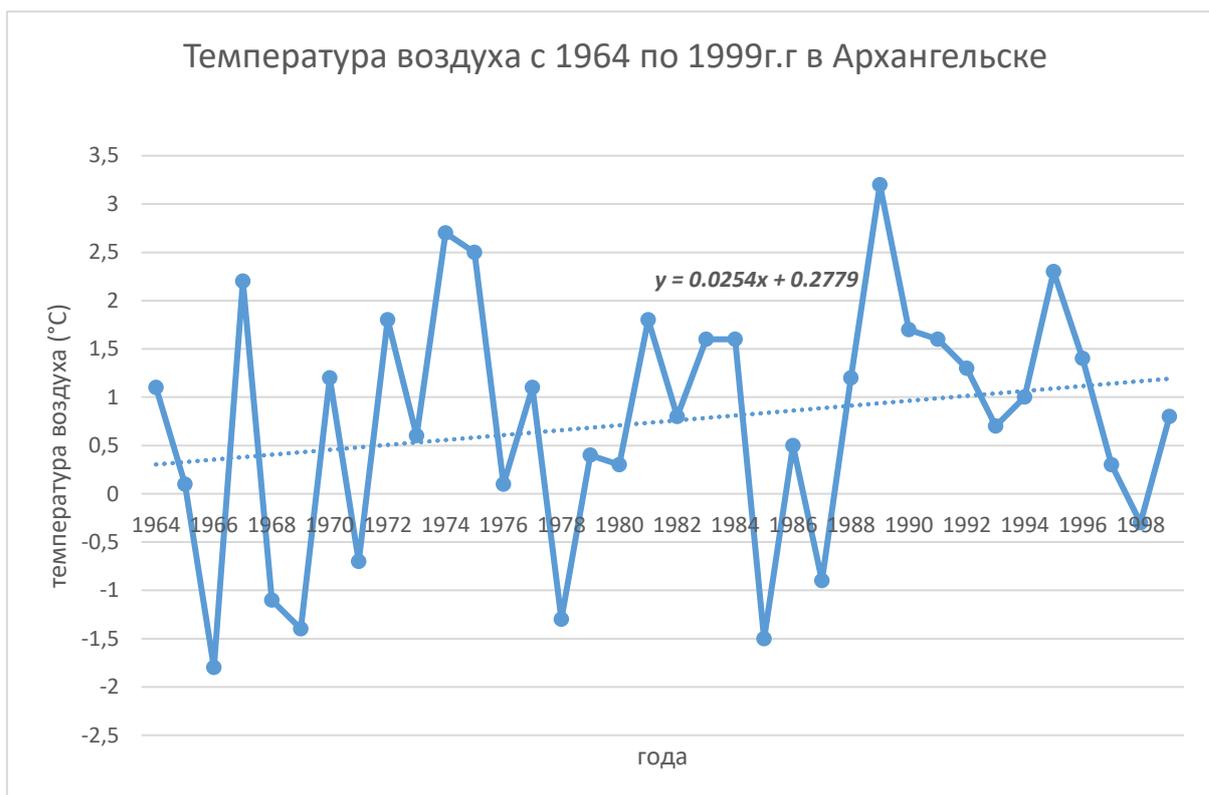


Рисунок 39 Ход среднегодовых значений температуры воздуха в Архангельске с 1964 по 1999 год.

При расчете оценки значимости тренда на данном графике вышеупомянутый оказался не значим, из чего можно сделать вывод что температура в Архангельске с 1964 года по 1999 год росла незначительно.

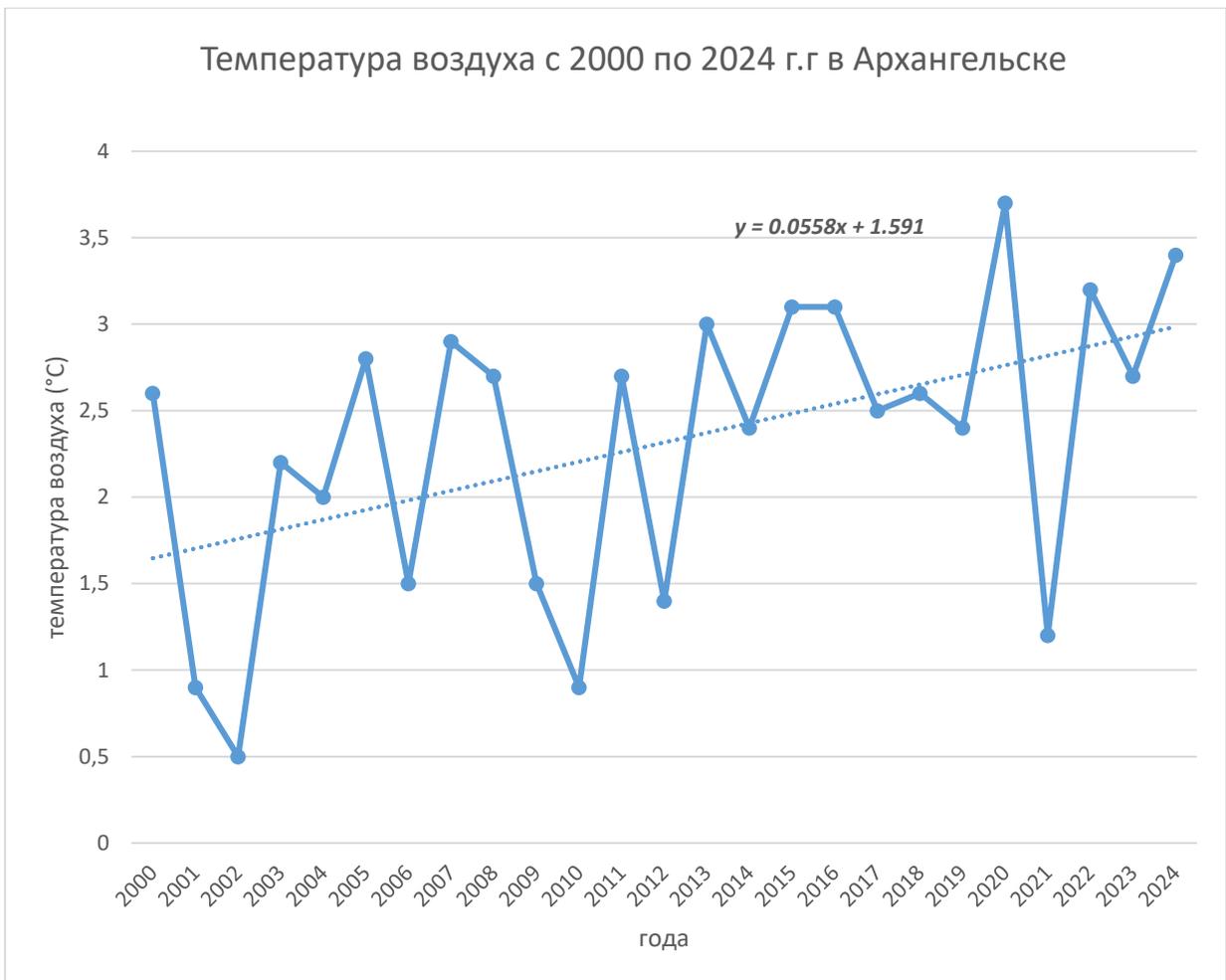


Рисунок 40 Ход среднегодовых значений температуры воздуха в Архангельске с 2000 по 2024 год.

Для того чтобы убедиться в статистическом соответствии линии тренда на этом графике с действительностью проверим его на значимость при помощи критерия Фишера:

Регрессионная статистика	
Множественный R	0.478845971
R-квадрат	0.229293464
Нормированный R	0.195784484
Стандартная ошибка	0.76868976
Наблюдения	25

Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	значимость F
Регрессия	1	4.04327	4.04327	6.84275	0.01545
Остаток	23	13.5903	0.59088		
Итого	24	17.6336			

Коэффициентная статистика - значения ниже 95% верхние 95% нижние 95% средние 95.0%								
У-пересечение	-109.8916923	42.8953	-2.56186	0.01743	-198.627	-21.1559	-198.627	-21.1559
Переменная X 1	0.055769231	0.02132	2.61586	0.01545	0.01167	0.09987	0.01167	0.09987

Рисунок 41 Проверка значимости тренда на графике хода среднегодовых значений температуры воздуха в Архангельске с 2000 года по 2024 год.

Расчет критерия Фишера показал положительные результаты – значение «Значимость F» меньше уровня значимости регрессионной модели равному 0.05, значит данный тренд статистически значим и полезен для прогнозирования.

На данном графике тренд значим, из чего следует вывод, что температура воздуха с 2000 года росла с темпом 0.5 °С в 10 лет.

Анализируя два ряда среднегодовых значений температуры в Архангельске поделенные по методу бифуркации выявлена следующая закономерность: С 1964 года в Архангельске температура повышалась незначительно, однако в начале третьего тысячелетия темпы роста температуры сильно возросли на 0.05 °С в год.

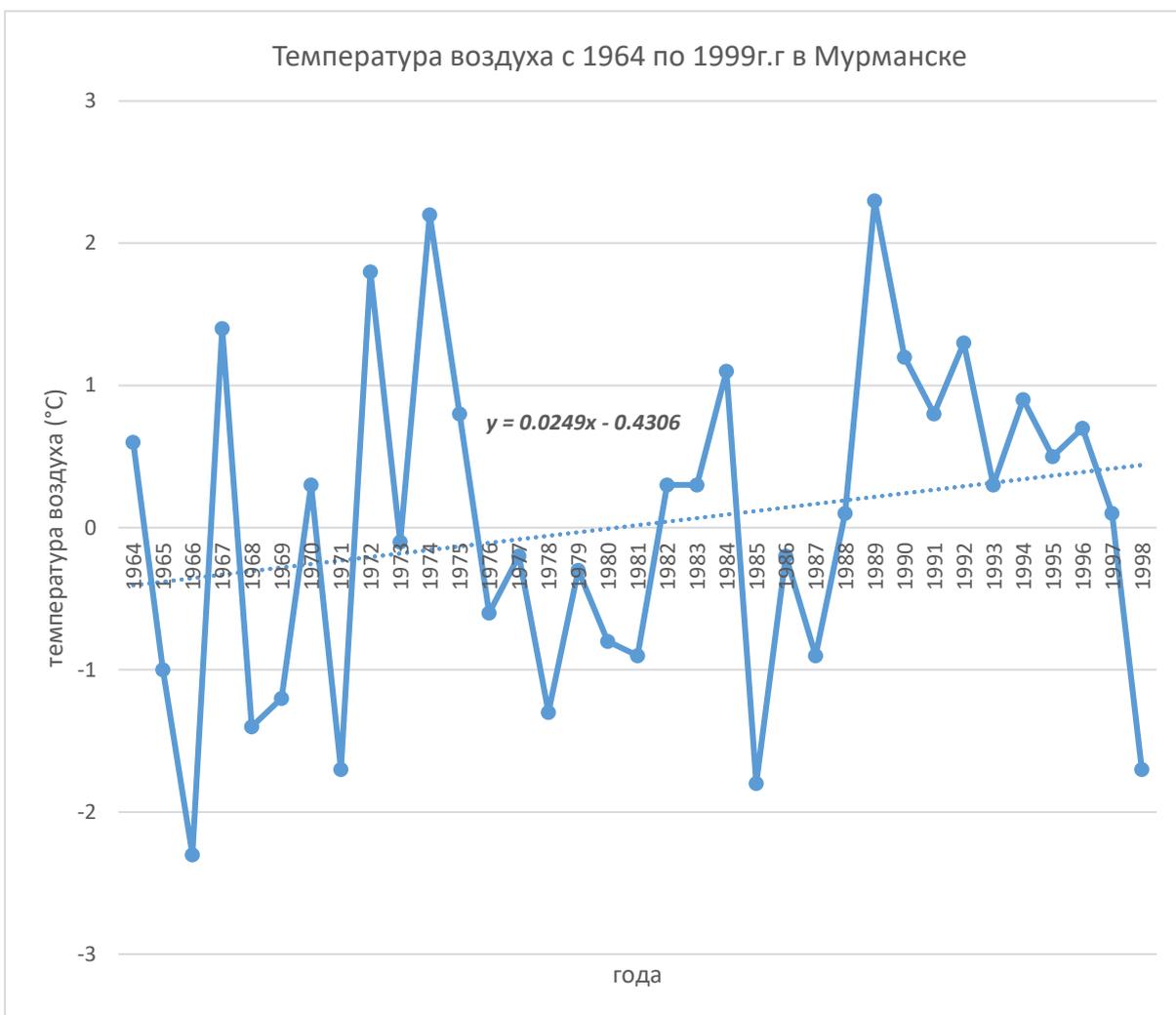


Рисунок 42 Ход среднегодовых значений в Мурманске с 1964 по 1999 год.

Тренд данного графика при проверке на статистическую значимость оказался не значимым, из чего нельзя делать выводов о его динамике.

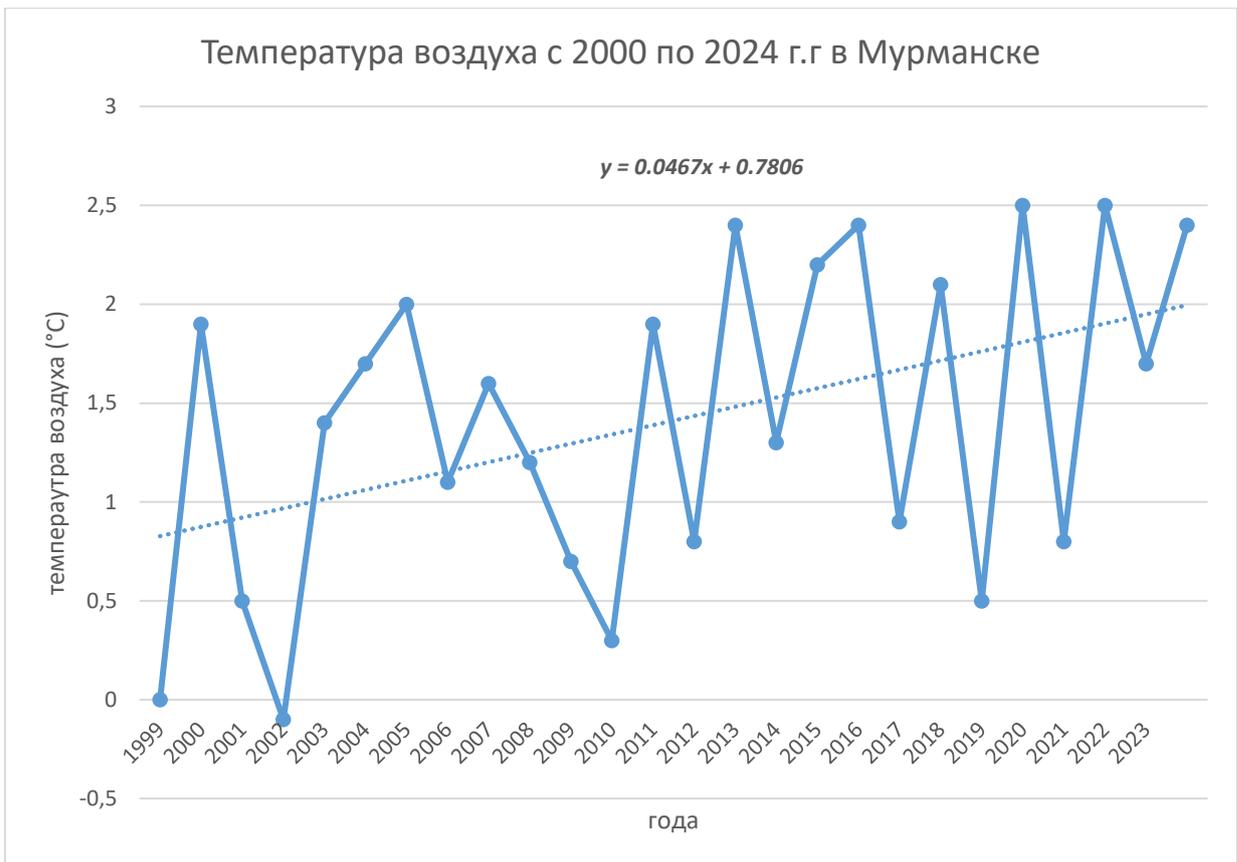


Рисунок 43 Ход температуры воздуха в Мурманске с 2000 года по 2024 год.

Однако для данного графика тренд оказался значимым,

Регрессионная статистика								
Множественный коэффициент корреляции	0.44314							
R-квадрат	0.19637							
Нормированный коэффициент корреляции	0.16289							
Стандартная ошибка	0.73802							
Наблюдения	26							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	значимость F			
Регрессия	1	3.19434	3.19434	5.86467	0.02337			
Остаток	24	13.0722	0.54467					
Итого	25	16.2665						
Коэффициентная статистика - Значения ниже 95% верхние 95% нижние 95% средние 95.0%								
Y-пересечение	-92.596	38.819	-2.38533	0.02531	-172.714	-12.4776	-172.714	-12.4776
Переменная X	0.04674	0.0193	2.42171	0.02337	0.00691	0.08656	0.00691	0.08656

Рисунок 44 Проверка значимости тренда на графике хода температуры в Мурманске с 2000 по 2024 год.

следовательно, он полезен для прогноза и показывает положительную динамику роста температуры в Мурманске за период с 1999 года по 2024 год, которая составляла 0.4 °C в 10 лет.

Анализируя ряды среднегодовых значений температуры в Мурманске поделенные по методу бифуркации выявлена следующая закономерность: С 1964 года в Мурманске температура повышалась незначительно, однако в начале третьего тысячелетия темпы роста температуры сильно возросли на 0.04 °С в год.

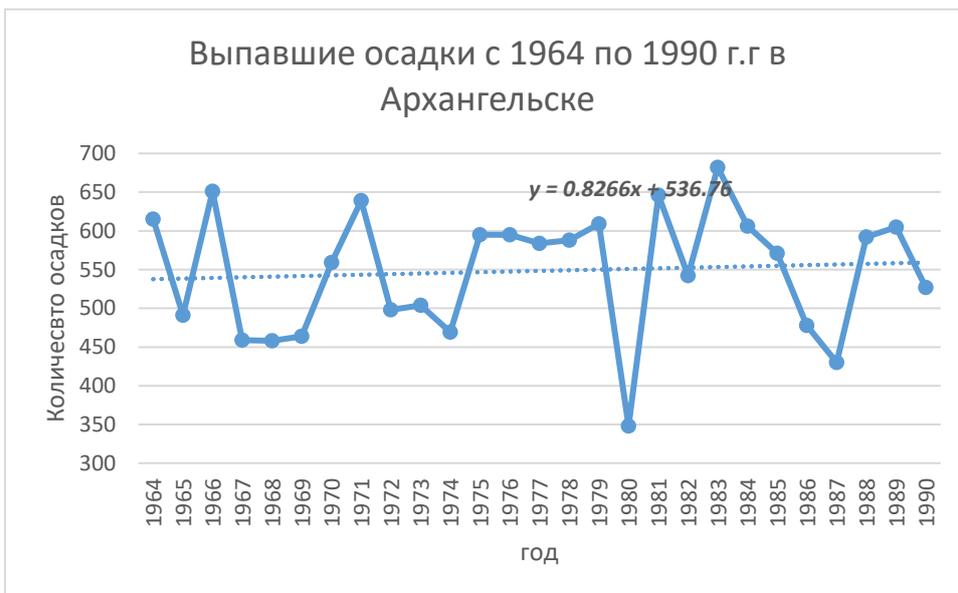


Рисунок 44 Ход выпавших осадков в Архангельске с 1964 по 1990 год.



Рисунок 45 Ход выпавших осадков в Архангельске с 1990 по 2024 год.

При анализе двух рядов среднегодовых значений количества атмосферных осадков в Архангельске проведена проверка их трендов на значимость при помощи критерия Фишера, которая показала, что оба тренда

не значими, что говорит лишь о слабом изменении данной метеорологической величины с 1964 года по 1990 год, так и с 1991 года по 2024 год.

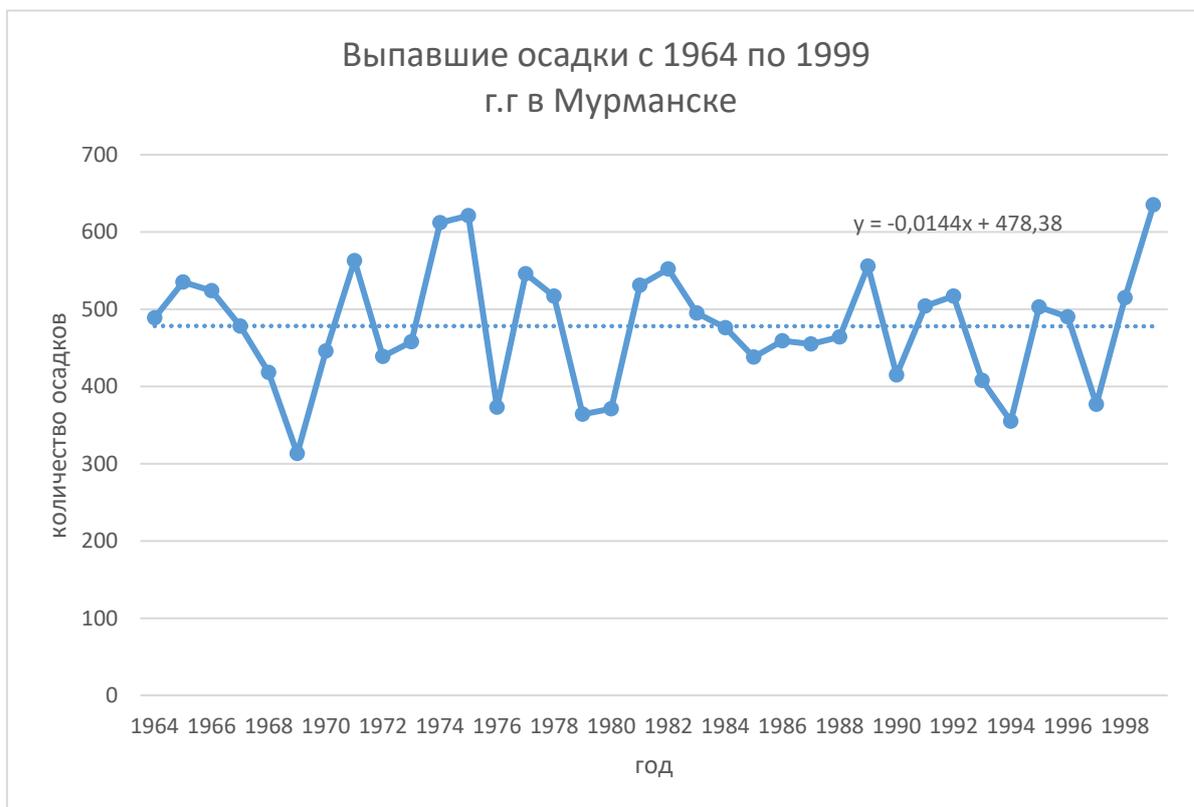


Рисунок 46 Ход выпавших атмосферных осадков в Мурманске с 1964 по 1999 год.

На данном графике тренд по итогам проверки на значимость статистически не значим, однако имеется тенденция на крайне слабое понижение.



Рисунок 47 Ход выпавших осадков в Мурманске с 2000 по 2024 год.

Тогда как в данном графике тренд по результатам проверки статистически значим и полезен для прогнозирования.

Регрессионная статистика								
Множествен	0.4486							
R-квадрат	0.2012							
Нормирован	0.1665							
Стандартна	83.184							
Наблюдения	25							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	значимость F			
Регрессия	1	40099	40099	5.7949	0.0245			
Остаток	23	159151	6919.6					
Итого	24	199250						
Коэффициентная статистика - значения ниже 95% критиче 95% критиче 95.0%								
Y-пересечен	-10620	4641.9	-2.288	0.0317	-20223	-1017	-20223	-1017
Переменная	5.5538	2.3071	2.4073	0.0245	0.7812	10.326	0.7812	10.326

Рисунок 48 Проверка значимости тренда на графике хода выпавших осадков в Мурманске с 2000 года по 2024 год.

Тренд данного графика показывает положительную динамику с темпом роста данной метеорологической величины в Мурманске с 2000 года по 2024 год 55.5 мм за 10 лет.

Анализируя оба ряда можно прийти к выводу, о том что с 1964 года по 1999 год количество атмосферных осадков в Мурманске крайне слабо сокращалось, однако, начиная с 2000 года данная тенденция пошла на увеличение, и росла со скоростью 5.5 мм в год.

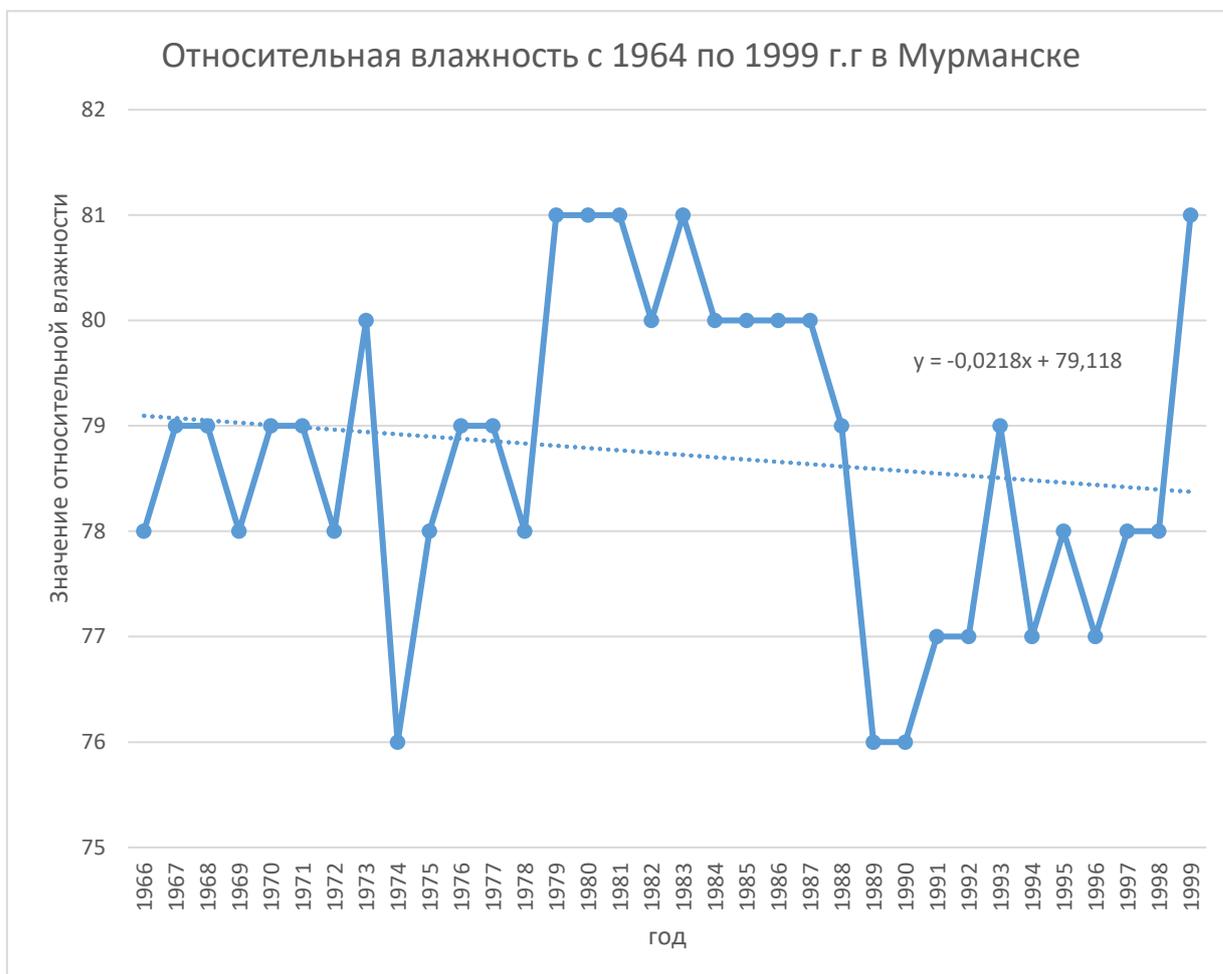


Рисунок 49 Ход относительной влажности в Мурманске 1964 по 1999 год.

На данном графике тренд не значим по результатам проверки его на значимость при помощи критерия Фишера. Поэтому его нельзя использовать для прогноза.



Рисунок 50 Ход относительной влажности в Мурманске с 2000 по 2024 год.

Тогда как для графика хода среднегодовых значений относительной влажности в Мурманске с 2000 года по 2024 год тренд значим по результатам проверки на значимость. Данный тренд описывает динамику на убывание исследуемой метеорологической величины с темпом падения 1.23 % за 10 лет.

Регрессионная статистика								
Множественный R	0.48302							
R-квадрат	0.23331							
Нормированный коэффициент	0.19846							
Стандартная ошибка	1.61265							
Наблюдения	24							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	значимость F			
Регрессия	1	17.4107	17.4107	6.69473	0.01681			
Остаток	22	57.2143	2.60065					
Итого	23	74.625						
Коэффициент стандартной ошибки - Значения ниже 95% верхние 95% нижние 95% средние 95%								
Y-пересечение	326.377	95.6566	3.41197	0.0025	127.997	524.757	127.997	524.757
Переменная	-0.12304	0.04755	-2.58742	0.01681	-0.22167	-0.02442	-0.22167	-0.02442

Рисунок 51 Проверка значимости тренда на графике хода среднегодовых значений относительной влажности в Мурманске с 2000 по 2024 год.

Анализируя полученные данные различима тенденция на понижение значения относительной влажности в Мурманске начиная с 2000 года по 2024

год с темпом падения 0.12 % в год, тогда как до 1999 года тенденция была не значительная.



Рисунок 52 Ход относительной влажности в Архангельске с 1964 по 1998 год.

По результатам проверки на значимость тренда, на данном графике он оказался статистически значим и полезен для прогнозирования, с положительной динамикой роста 0.4 % за 10 лет.

Регрессионная статистика					
Множест	0.46612				
R-квадрат	0.21727				
Нормиро	0.18931				
Стандарт	1.17276				
Наблюде	30				
Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	ачимость F
Регрессия	1	10.6897	10.6897	7.77221	0.00943
Остаток	28	38.5103	1.37537		
Итого	29	49.2			
Коэффициентная статистика - Значения					
	df	нижние 95%	верхние 95%	нижние 95.0%	Верхние 95.0%
Y-пересеч	-56.9862	48.9935	-1.16314	0.25459	-157.345 43.3725
Переменн	0.06897	0.02474	2.78787	0.00943	0.01829 0.11964 0.01829258 0.119638459

Рисунок 53 Проверка значимости тренда на графике хода среднегодовых значений относительной влажности в Архангельске с 1964 года по 1998 год.



Рисунок 54 Ход относительной влажности в Архангельске с 1999 по 2024 год.

Тренд на графике хода среднегодовой относительной влажности в Архангельске с 2000 года по 2024 год оказался не значим по результатам его проверки при помощи критерия Фишера.

Анализируя данные двух рядов можно сделать вывод о том, что с 1964 года по 1999 год имелась тенденция на незначительное повышение с темпом роста 0.03 % в год, однако с 2000 года по 2024 год она прекратилась и значения относительной влажности в Архангельске держались примерно на одном уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

По итогам проведенных работ доказаны следующие тенденции:

Повышение температуры воздуха со скоростью 0.05; 0.04 °C/год с 1964 по 2024 год в Архангельске и Мурманске соответственно. Рост количества атмосферных осадков со скоростью 2.33; 2.2 мм/год с 1964 по 2024 год в двух городах соответственно. Рост относительной влажности со скоростью 0.03 %/год в Архангельске с 1964 по 2024 год. Падение относительной влажности в Мурманске со скоростью 0.1%/год с 2000 по 2024 год.

Также обнаружена смена динамики изменений температуры в 2000 году в Архангельске и Мурманске соответственно, характеризующая повышение темпов роста температуры с 0.02 (до 2000 года) до 0.05 °C/год (после 2000 года); с 0.02 (до 2000 года) до 0.04 °C/год (после 2000 года). Смена динамики изменений количества осадков в Архангельске выявлена не была, тогда как в Мурманске в 2000 году ускорились темпы роста данной метеорологической величины с -0.01 (до 2000 года) до 5.55 мм/год (после 2000 года).

При нахождении смены динамики относительной влажности в Архангельске была выявлена следующая закономерность – с 1964 по 2000 год метеорологическая величина имела тренд на повышение со скоростью 0.03 %/год, однако начиная 2000 года значение относительной влажности выровнялось до 80.5 %/год и не повышалось. В Мурманске была выявлена совершенно иная закономерность – в 2000 году динамика хода параметра имела тенденцию на понижение: с -0.02 %/год (до 2000 года) до -0.12 %/год (после 2000 года).

Из всего вышеперечисленного следует закономерный вывод о том, что, на примере двух городов Архангельск и Мурманск, на протяжении последних шестидесяти лет на территории Арктики наблюдается потепление климата, лишь усиливающееся начиная с начала XX века.

Данному процессу способствует совокупность факторов, частью которых является такая метеорологическая величина как температура воздуха, оказывая наибольшее влияние на потепление.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правительство Мурманской области. Природные условия и ресурсы [Электронный ресурс] // Кольская энциклопедия. – 2005 – 2025. - https://ke-culture.gov-murman.ru/murmanskaya_oblast/5237/
2. О. Анисимов, С. Бадина, М. Белолуцкая и др. Изменение климата в Российской Арктике: риски и новые возможности. – Москва : Государственный гидрологический институт, Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО, 2022. – 105 с.
3. Роскомнадзор. История Архангельской области [Электронный ресурс] // Официальный сайт Управления Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций по Архангельской области и Ненецкому автономному округу. - URL: https://29.rkn.gov.ru/about/Region_history/Arkhangelsk_region/?print=1
4. Б. Я. Яковлев Климат мурманской области. Мурманское книжное издательство, 1961. 199 с.
5. Мещеряков С. Водные ресурсы Архангельской области: учебно-методический материал [Электронный ресурс] // Муниципальная система образования г. Северодвинска. - 2013. - URL: https://www.edu.severodvinsk.ru/after_school/obl_www/2013/work/mesh/vodnie.html
6. Минприроды России. Водные ресурсы Архангельской области [Электронный ресурс] / Федеральный портал «Вода России». – URL: <https://voda.gov.ru/maps/arkhangelskaya-oblast/>
7. Хандожко Л. А. Региональные синоптические процессы. Учебное пособие. Ленинград, 1988 г. - 103 с.
8. Кузнецов А.Д., Саенко А.Г., Сероухова О.С., Симакина Т.Е. Алгоритм поиска момента смены тренда во временных рядах

метеорологических величин. – г.Санкт-петербург; вестник ТВГУ. серия: прикладная математика. 2019. № 3. с. 74–89.

9. Жуков М.А. Методологические и методические проблемы выделения Арктической зоны Российской Федерации / Арктика XXI век. Гуманитарные науки. 2014.

10. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С., Симакина Т.Е. К вопросу о выделении аддитивных составляющих временного ряда приземной температуры воздуха // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2013. № 32. С. 55–65.

11. <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/select.xhtml>

12. <https://nsidc.org/data/soac>