



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Оценка режима туманов в Мурманске»

Исполнитель Иванова Ульяна Романовна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Абаников Виктор Николаевич

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой



(подпись)

доктор физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Дробжева Яна Викторовна

(фамилия, имя, отчество)

« 18 » 06. 2025 г.

Санкт-Петербург

2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Актуальность исследования режима туманов в г. Мурманск	5
1.1 Физика – географические условия г. Мурманск и обзор условий формирования туманов.....	5
1.3 Процессы формирования туманов.....	15
1.4 Актуальность анализа процессов туманообразования в г. Мурманск....	18
2 Анализ режима гидрометеорологических характеристик, влияющих на режим туманов	22
2.1 Температурные характеристики кольского залива за 10 лет.....	22
2.2 Анализ относительной влажности воздуха и ветрового режима	26
2.3 Статистические характеристики режимов туманов	33
3 Анализ сочетания туманов с метеорологическими характеристиками и синоптическая обстановка.....	37
3.1 Анализ повторяемости туманов с температурно – влажностными характеристиками.....	37
3.2 Оценка повторяемости туманов с показателями ветрового режима и влажностью воздуха.....	39
3.3 Влияние синоптических условий на туманы	43
Заключение	61
Список литературы	63

ВВЕДЕНИЕ

Климатические условия Арктической зоны и прилегающих территорий играют важную роль не только в формировании природных ландшафтов, но и в жизни населения, развитии экономики, транспортной инфраструктуры и планировании хозяйственной деятельности. Особое значение в этом контексте имеет Кольский полуостров – уникальный регион России, находящийся в зоне субарктического климата и одновременно являющийся стратегически важным промышленным и портовым районом. Город Мурманск, расположенный за Полярным кругом и являющийся крупнейшим городом на Кольском полуострове, представляет собой ключевой объект для изучения климатических и метеорологических процессов [3].

Туман как одно из важных атмосферных явлений играет значительную роль в формировании погоды и климата прибрежных и горных территорий. Его возникновение связано с комплексом метеорологических условий, включая температуру воздуха, влажность, скорость и направление ветра, а также характер подстилающей поверхности. Особую актуальность исследование туманов имеет в условиях Арктики и субарктических регионов, где они оказывают влияние не только на экосистемы, но и на социально–экономическую сферу, особенно транспортную инфраструктуру, авиацию, морские перевозки и безопасность жизнедеятельности.

Город Мурманск и Кольский полуостров представляют собой уникальный регион с точки зрения формирования туманов. Расположенные за Полярным кругом, они находятся на стыке различных воздушных масс – холодного арктического и более тёплого атлантического воздуха. Благодаря близости к Баренцеву морю и сложному рельефу, здесь создаются благоприятные условия для частого возникновения как адвективных, так и радиационных туманов. Особенно остро проблема туманов стоит в прибрежных районах, где они могут становиться причиной аварий, задержек транспорта и ухудшения видимости [6].

Изучение режима туманов в этом регионе позволяет:

- выявить закономерности их образования;
- проанализировать актуальность исследования режима туманов в г. Мурманск;

- выявить гидрометеорологические характеристики, влияющих на режим туманов;

- установить сезонные и суточные колебания;

- определить основные климатообразующие факторы;

Целью настоящей работы является анализ режима туманов в городе Мурманск и на территории Кольского полуострова с выявлением их пространственно – временных характеристик и зависимости от метеорологических условий.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Проанализировать физические условия и механизмы формирования туманов.
- 2) Изучить особенности географического положения, климата и рельефа региона.
- 3) Выявить закономерности возникновения туманов по данным наблюдений и синоптическим картам.
- 4) Определить зависимость туманов от таких факторов, как температура воздуха, влажность, скорость и направление ветра.
- 5) Оценить сезонные и многолетние изменения режима туманов.

Объектом исследования послужил климатический режим Кольского полуострова и города Мурманска. Предметом исследования – режим туманов как одного из ключевых атмосферных явлений, оказывающих влияние на погодные условия региона.

Методологическая основа исследования включает использование данных метеорологических наблюдений, синоптических карт, статистического анализа и сравнительного метода для выявления связи между туманами и другими метеорологическими показателями.

1 АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМА ТУМАНОВ В Г. МУРМАНСК

1.1 Физика – географические условия г. Мурманск и обзор условий формирования туманов

Мурманск расположен на севере Кольского полуострова, на восточном берегу Кольского залива, в 50 км от открытого моря Баренцева. На востоке от города простираются холмистые массивы, высота которых варьируется от 100 до 250 метров над уровнем моря. Населенный пункт занимает узкую, слегка возвышенную равнину, протяженную в направлении с юга на север.

Кольский полуостров – это крупный полуостров на северо – западе Европейской части России, входящий в состав Мурманской области. Он омывается Баренцевым и Белым морями и находится в зоне умеренного климатического пояса [12].

Рельеф Кольского полуострова отличается большим разнообразием.

Северная часть полуострова занята Хибинскими горами и Ловозёрскими тундрами, которые относятся к Балтийскому щиту – древнейшему участку земной коры. Наивысшая точка региона – гора Юдычвайлийнчорр (1191 м над уровнем моря). Горные массивы имеют платообразный характер: их вершины плоские, а склоны – часто крутые.

Центральная и южная части полуострова представлены низменностями и возвышенностями. На западе расположена Кандалакшская губа, а на востоке – крупные водоёмы, такие как озеро Имандра и другие озёра.

Геологическое строение Кольского полуострова связано с древними докембрийскими породами – гранитами, гнейсами и базальтами. Особое значение имеет Хибинский массив, сложенный щелочными породами, богатыми редкими металлами.

Многие формы рельефа сформировались под воздействием древнего ледника. Среди них встречаются цирки, морены, озы, камы. Также широко распространены карстовые формы, особенно характерные для Хибинского массива [14].

Климатическая специфика региона обусловлена сочетанием обширной акватории Баренцева моря на севере и материковой зоны на юге. Зимой и летом наблюдается значительная разница температур между морем и суши, что формирует сильные меридиональные градиенты (постепенное изменение метеорологических показателей в направлении с севера на юг). Это приводит к частой смене воздушных масс, что делает погоду в городе нестабильной и резко переменчивой.

Климат Кольского полуострова – умеренно–континентальный с сильным влиянием Атлантики и Арктики. Основные климатообразующие факторы:

Географическое положение.

Мурманск находится в субарктических широтах (65 – 69° с. ш.), что обуславливает короткое лето и длинную зиму. Расположен между Баренцевым морем (на севере) и Белым морем (на юго – востоке).

Влияние Баренцева моря: Баренцево море не замерзает круглый год благодаря течению Гольфстрим, что делает зимы мягче, чем в других регионах на аналогичной широте. Создаёт морской микроклимат на побережье.

Арктические воздушные массы: зимой приходят холодные воздушные массы из Арктики, приводящие к понижению температур. Особенно ощутимы в глубинных районах полуострова [14].

Рельеф: горы усиливают эффект орографического подъёма воздуха, увеличивая количество осадков на наветренных склонах. Также создают барьер для тёплых атлантических воздушных масс, которые задерживаются у подножия.

Циркуляция атмосферы: преобладают западные ветры умеренных широт, приносящие влагу с Атлантики. Частые циклоны – причина высокой облачности и значительного количества осадков.

Влияние Кольского залива проявляется только в небольших районах города, непосредственно прилегающих к его берегам.

Климатические характеристики:

- Средняя температура января: $-10\dots-15^{\circ}\text{C}$ (на побережье до -7°C);
- Средняя температура июля: $+10\dots+14^{\circ}\text{C}$;
- Годовое количество осадков: 400 – 800 мм (до 1000 мм в горах);
- Продолжительность снежного покрова: 150 – 200 дней;
- Особенности: "Полярный день (летом), полярная ночь (зимой) на севере".

Природные зоны:

- Тундра – в северной и высокогорной частях;
- Лесотундра – переходная зона;
- Тайга – на юге полуострова (в виде редколесья).

Кольский полуостров – уникальный регион с сочетанием горного рельефа и сурового климата, но смягчённого влиянием Баренцева моря. Его климат формируется под влиянием:

- географической широты,
- близости к океану и морям,
- рельефа,
- циркуляции воздушных масс,
- взаимодействия арктических и атлантических воздушных масс.

Это всё создаёт специфические природные условия, характерные для севера Евразии.

Мурманская область соприкасается с Республикой Карелия на южной границе. Однако ближайшим административным центром к Мурманску выступает не столица Карелии – Петрозаводск, а Архангельск. Расстояние от Мурманска до Архангельска составляет 592 км по прямой, тогда как до Петрозаводска – 801 км. Столица страны, Москва, находится на 1487 км к югу от города, а Санкт–Петербург – на 1012 км к юго – западу [12].

Погодные условия в Мурманске отличаются строгостью, что требует тщательного планирования поездок. Холодная погода доминирует круглый год. С октября по май ночью температура опускается ниже нуля. Уже в ноябре возможны заморозки и днём – до -3°C , а в декабре столбик термометра может

опускаться до -10°C , а в январе – до -12°C . Начиная с февраля, морозы постепенно ослабевают, но оттепели не наступают до конца апреля.

Летнее тепло за полярным кругом не балует жарой, но наступает резко. В мае температура днём держится около $+9^{\circ}\text{C}$, к июню повышается до $+15^{\circ}\text{C}$, а к июлю достигает $+18^{\circ}\text{C}$. Самый тёплый месяц – август, когда воздух прогревается до $+20^{\circ}\text{C}$. Однако уже в сентябре столбик термометра опускается до $+10^{\circ}\text{C}$, а к октябрю возвращается к нулевой отметке. Несмотря на возможность летом носить лёгкую одежду днём, ночи остаются прохладными: даже в августе они редко превышают $+10^{\circ}\text{C}$, что является характерной чертой местного климата.

Одним из преимуществ арктического климата является минимальное количество осадков – дожди здесь редки и маловероятно, что они помешают путешествиям. Однако это компенсируется низкой инсоляцией: в Заполярье солнечные дни крайне ограничены. Например, в августе их насчитывается около 11, а в апреле – 0.

Поскольку Мурманск, расположен на Кольском полуострове в северо – западной части России, отличается специфическими климатическими условиями, которые способствуют частому возникновению тумана. Формирование тумана здесь связано с рядом географических, климатических и метеорологических факторов. Город находится на берегу Кольского залива, что делает его уязвимым к воздействию морских воздушных масс. Влага, испаряющаяся с поверхности моря, становится основным источником для образования тумана. Восточные районы Мурманска окружены холмистыми массивами, которые могут замедлять циркуляцию воздуха и способствовать его увлажнению [13].

Сочетание холодного воздуха и относительно теплых вод Баренцева моря создает условия для конденсации влаги. Зимой туман часто возникает из-за столкновения холодного воздуха с теплой водой открытых участков моря («морской туман»). Летом особенно в ночное время, когда температура

воздуха падает ниже точки росы, формируется ночной туман. Северо – западные ветры приносят влажные воздушные массы с Баренцева моря, что способствует образованию тумана. Слабые ветры (менее 5 м/с) не разрывают туман, позволяя ему сохраняться над территорией города. Давление в регионе часто низкое, что связано с прохождением циклонов. Такие системы способствуют накоплению влаги в нижних слоях атмосферы.

Туман «от океана» (морской туман) возникает, когда теплый воздух над морем поднимается и охлаждается при контакте с холодным воздухом над суши. Туман «контактного» типа формируется, когда холодный воздух движется над теплой водой, вызывая испарение и конденсацию влаги.

Туман в Мурманске наблюдается в среднем 120 – 150 дней в году, особенно в осенне – зимний период. Максимальная продолжительность: до 10 – 12 часов в сутки, чаще в ночное время [13].

Таким образом, формирование тумана в Мурманске обусловлено уникальным сочетанием географического положения, климатических условий и метеорологических процессов. Основными триггерами являются:

- Близость к Баренцеву морю как источнику влаги,
- Столкновение воздушных масс с разной температурой,
- Слабые ветры и влияние циклонов.

Эти факторы делают туман одной из характерных черт климата Мурманской области.

Туманы над Кольским заливом отличаются значительной пространственно – временной изменчивостью. Как показывают результаты анализа климатологических данных [(Зыкова, 1994)], число дней с туманом и их средняя многолетняя суммарная продолжительность значительно выше на станциях, непосредственно прилегающих к акватории залива (Мурманск, Полярное), чем в его вершине (Кола) и на станциях открытого побережья (Пикшуев). Для Мурманска среднее число дней с туманом составляет 30 за год при максимуме в январе (4,4) и минимуме в июне (0,5). За год здесь насчитывается 140 часов с туманом (январь – 25, июнь – 2). Однако в силу изменчивости

этой характеристики годовые экстремумы могут смещаться на другие месяцы сезонов, возможны и значительные нарушения правильности годового хода.

В зимние месяцы не менее 90 % случаев приходится на туманы испарения. Наряду с туманами, охватывающими как побережье, так и акваторию залива, зимой часто наблюдается парение залива, ограниченное его акваторией и вызванное натеканием холодного воздуха на незамерзающую водную поверхность. Это явление чаще всего отмечается при значительной положительной разности температуры вода – воздух ($15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более) и слабом южном, юго – западном ветре или штиле. Необходимым условием образования тумана испарения является инверсия (рост температуры с высотой в нижнем слое воздуха) [8].

Туманы и парение залива относятся к числу опасных метеорологических явлений, затрудняющих плавание и дезорганизирующих работу портов. В период 1965 – 1971 гг. проводились эксперименты по предотвращению возникновения тумана с использованием химических реагентов, но дальнейшего развития эти работы не получили, и их возможные последствия не оценивались.

1.2 Классификация туманов

Согласно физической интерпретации, туман является дисперсной системой, в которой капельки воды или ледяные кристаллы находятся в подвешенном состоянии. Основные микрофизические параметры тумана включают:

- 1) Водность (содержание влаги в единице объёма);
- 2) Агрегатное состояние (фаза частиц – жидкость или лёд);
- 3) Размеры и концентрация частиц (количество капелек или кристаллов на единицу объёма);
- 4) Форма ледяных элементов (габариты и геометрия кристаллов).

Формирование тумана требует насыщения воздуха водяным паром. Это происходит, в основном, из-за охлаждения воздушных масс, реже – вследствие увеличения их абсолютной влажности. Охлаждение может возникать по двум причинам:

- 1) Теплотеря поверхности (например, ночное охлаждение земли).
- 2) Температурный контраст между подстилающей поверхностью и надвигающимися воздушными массами.

Устойчивые туманы (продолжительные и плотные) обычно развиваются при наличии температурной инверсии в нижних слоях атмосферы. Это явление, когда температура воздуха с высотой растёт, а не падает, препятствует вертикальной конвекции, что способствует сохранению влаги в приземном слое [9].

Туманы возникают при отсутствии или слабом воздушном потоке, что способствует накоплению вредных веществ в атмосфере. Одним из ключевых параметров тумана является его водность, которая может быть описана двумя способами:

- 1) Абсолютная водность – масса капелек воды на единицу объема воздуха.
- 2) Удельная водность – масса капелек воды в 1 г воздушной массы.

Обычно термин «водность» используется для обозначения именно абсолютной величины. Классификация туманов:

По агрегатному состоянию все туманы можно разделить на:

- а) капельные;
- б) ледяные;
- в) смешанные.

В основном туманы мелкокапельные даже при температуре ниже 0°C, самые распространенные и частые имеют диаметр капель 10 – 30мкм.

По синоптическому положению:

- а) Фронтальные;
- б) Внутримассовые.

Фронтальные туманы возникают, когда воздушные массы с разными показателями влагосодержания и температуры сливаются вместе. Это необходимое, но недостаточное условие для образования тумана. Скорость движения фронта не должна превышать 10 – 15 километров в час.

Обычно это происходит при приближении теплого или медленного холодного фронта. Туманы чаще всего образуются в холодном воздухе перед приближением теплого фронта. Чаще всего перед появлением тумана происходит усиление осадков. Дождь или снег редко сопровождают такой туман, скорее они способствуют его рассеиванию. Фронтальные туманы чаще всего сопровождаются мелким дождем или моросью. Из-за медленного движения теплого фронта, туман может занимать большие территории и продолжаться несколько десятков часов [10].

Туман на фронтах образуется и движется подобно волне, а осадки начинаются только после его приближения. Обычно он длится и покрывает меньшую площадь, чем на теплом фронте, так как движется быстрее. На фронтах окклюзии туманы возникают только при низкой скорости фронта, около нескольких метров в секунду, и сильном отличии физических характеристик холодного воздуха от остального. Интенсивность такого тумана зависит от разницы в температуре между холодным и еще более холодным воздухом, а также от скорости фронта. В этом тумане часто идет морозящий дождь.

Теплый фронт создает предфронтальный туман, когда вода из слоистых облаков испаряется перед фронтальной линией. Для этого необходимо, чтобы нижний слой воздуха был достаточно влажным и охлажденным. В этом процессе важную роль играют осадки, которые падают на землю, испарение с увлажненной почвы, а также перемешивание и охлаждение воздушной массы. При сильной турбулентности влажный воздух поднимается и подвергается дополнительному охлаждению, что приводит к образованию вторичного уровня конденсации на высоте несколько десятков или сотен метров. На этом уровне образуются низкие слоистые дождевые облака. Дождь, кото-

рый прошел перед фронтом, может также способствовать образованию за- фронтального тумана путем достаточного увлажнения и охлаждения почвы и нижнего слоя атмосферы.

Туман смешения – это редкое явление, которое возникает при разнице в температуре воздушных масс на атмосферном фронте более 10 градусов и при наличии водяного пара, который близок к насыщенности в 100%. Это приводит к увеличению удельной влажности смеси, по сравнению с удельной влажностью каждого компонента. Такие туманы обычно образуются только в определенных местах, например, на берегах морей или границ ледни- ков, и чаще всего встречаются летом. Однако эффект смешения может также способствовать образованию других типов тумана как дополнительный про- цесс.

По степени ухудшения горизонтальной видимости:

- а) Слабые (видимость 500 – 1000 метров);
- б) Умеренные (видимость 50 – 500 метров);
- в) Сильные (видимость менее 50 метров).

В зависимости от причин образования туманов различают следующие виды:

- а) Туман охлаждения;
- б) Туман испарения;

Из названия можно понять, что возникновение туманов происходит из – за двух процессов: понижения температуры воздуха и увеличения влаж- ности, что приводит к насыщению воздуха и конденсации водяного пара в нижнем слое атмосферы. Туманы охлаждения могут возникать при прибли- жении влажности воздуха к состоянию насыщения при понижении темпера- туры. Это может происходить из – за перемещения влажного воздуха над хо- лодной поверхностью (адвективные туманы), радиационного охлаждения под- стиляющей поверхности (радиационные туманы) или расширения воздуха без теплообмена с окружающей средой [7].

Отметим случай, когда понижение температуры воздуха, движущегося к холодной поверхности, усиливается из – за радиационного охлаждения. Это может привести к образованию тумана, который называется адвективно – радиационным. Расширение воздуха без теплообмена с окружающей средой и одновременное понижение его температуры возможно при движении воздушного потока по крутому склону. Туманы, которые возникают при соблюдении всех вышеперечисленных условий, называются орographicкими. Туманы, которые возникают из – за испарения, делятся на два типа: надводные и фронтальные.

Надводные туманы появляются, когда поверхность, с которой происходит испарение, теплее воздушной массы над ней. Фронтальные туманы образуются по другой причине: влага испаряется из теплой воздушной массы, которая перемещается горизонтально, а затем охлаждается при падении давления перед фронтом холодного воздуха [10].

Это происходит из – за замены тяжелого холодного воздуха более легким и теплым, что приводит к снижению давления. Туманы смешения могут возникать при смешении воздушных масс с различной влажностью и температурой, например, у границ морских течений. Также существуют туманы, которые образуются из – за деятельности человека, когда горячий и влажный воздух выделяется в результате хозяйственной деятельности. Эти туманы называются антропогенными.

Туманы снижают видимость, что может иметь серьезные последствия для безопасности и транспорта. Плохая видимость из – за тумана может привести к авариям на дорогах, задержкам в авиации и проблемам в навигации.

Таким образом, туманы могут значительно влиять на погодные условия и поведение людей. Влажность. Туманы являются признаком высокой влажности воздуха. Они образуются, когда влажный воздух охлаждается до точки росы и конденсируется.

1.3 Процессы формирования туманов

Образование тумана – это фазовый переход водяного пара в жидкую или твердую фазу в нижних атмосферных слоях. Это явление возникает при конденсации или сублимации водяного пара, а также коагуляции и кристаллизации частиц [10].

Трансформация тумана означает изменение его параметров (например, размера капель, водности, структуры) под влиянием внешних факторов. Туман состоит из капелек воды или ледяных кристаллов, которые формируются из водяного пара в результате фазовых переходов. Эти процессы включают:

- 1) Конденсацию (переход пара в жидкость),
- 2) Сублимацию (прямое преобразование пара в твердое состояние без жидкости),
- 3) Коагуляцию (слияние частиц при их столкновении),
- 4) Кристаллизацию (замерзание капелек или сублимация пара в лед).

Таким образом, туман представляет собой агрегат, образованный из частиц воды в жидкой или твердой фазе, возникающих из – за указанных физических процессов.

В процессе трансформации тумана наблюдается феномен агрегирования капелек или снежинок, обусловленный их физическим взаимодействием. Этот процесс, известный как коагуляция, происходит исключительно при прямом столкновении частиц.

Мелкие капли (диаметром менее 1 – 2 микрон) подвержены броуновскому движению, что значительно повышает вероятность их случайных столкновений и последующего слияния [9].

Механика коагуляции связана с неравенством скоростей движения различных капелек. Относительное перемещение частиц сокращает расстояние между ними, что приводит к их физическому контакту и объединению. Этот процесс усиливается в условиях, где частицы движутся с разными скоростями, что характерно для нестационарных атмосферных потоков.

Чем выше температура воздуха, тем этот процесс интенсивнее. Этот вид коагуляции называют – молекулярно – кинетическим.

Капли с диаметром более 15 микрон опускаются под действием гравитации быстрее мелких частиц. В процессе оседания крупные капли перехватывают и обгоняют более медленно движущиеся мелкие капли. Это приводит к их физическому контакту и образованию гравитационного слияния (коагуляции). В условиях ветрового воздействия в приземном слое атмосферы столкновения капелек могут вызываться вихревыми движениями воздуха (турбулентностью). Такой тип взаимодействия частиц называется турбулентным агрегированием. Вихревые потоки распределяют капли неравномерно, что увеличивает вероятность их столкновений и объединения [7].

При некоторой упругости водяного пара в тумане могут встретиться капли, над поверхностью которых эта упругость больше насыщающей, а также капли, над поверхностью которых она меньше насыщающей. Очевидно, что первые будут укрупняться за счет конденсации, а вторые – испаряться. Так как насыщающая упругость водяного пара над каплями тем меньше, чем больше их радиус, то конденсация происходит лишь на крупных каплях; мелкие испаряются.

Результатом тепломассообмена тумана с окружающей средой, проявляющийся при его трансформации, является снижение разброса в распределении диаметров капелек. В процессе этого:

- 1) Средний размер капель может как возрасти, так и уменьшиться в зависимости от условий.
- 2) Наиболее распространенный размер капель (мода) постепенно сближается со средним значением.

Этот процесс увеличения размера капелек, обусловленный конденсацией водяного пара, называется конденсационным ростом. Рост капель в результате коагуляции, как правило, происходит медленнее, чем при конденсационном механизме.

В процессе трансформации туманов при отрицательных температурах воздуха происходит также кристаллизация.

Кристаллизация может происходить как непосредственно, путем замерзания жидких капель, так и путем т. н. переконденсации.

Переконденсация – это физический процесс, при котором ледяные частицы увеличиваются в размерах за счет параллельного испарения водных капелек в атмосферных условиях, где сосуществуют как жидкость, так и твердый агрегат воды. Этот процесс возможен при постоянной температуре среды и без обмена теплом или массой с окружающей средой [1].

Механизм переконденсации: Ледяные кристаллы растут, получая воду из испаряющихся капелек. Это происходит из – за различий в насыщающем давлении пара над льдом и над водой: Пара над льдом имеет ниже критического уровня насыщения, чем над жидкостью.

В результате вода испаряется с капелек, а пар конденсируется на поверхности ледяных кристаллов.

Процесс продолжается до тех пор, пока все жидкостные капли в системе не исчезнут, а ледяные частицы не достигнут максимальных размеров.

Процесс обусловлен различием в насыщающем давлении пара над льдом и поверхностью воды. Так как пара над твердой фазой (льдом) имеет ниже критического уровня насыщения, чем над жидкой водой, водяной пар может быть пересыщен относительно льда, но не насыщен по отношению к каплям жидкости. Это приводит к параллельному испарению водных капелек и конденсации пара на поверхности ледяных кристаллов. Процесс продолжается до полного испарения всех жидкостных капель в тумане (облаке), а ледяные частицы достигают максимального возможного размера в данных условиях.

Факторы, влияющие на водность тумана:

- 1) Увеличение концентрации влаги в тумане;
- 2) Попадание дополнительного водяного пара в туман;
- 3) Понижение температуры воздушной массы, что повышает относительную влажность;

- 4) Введение микроскопических частиц (твердых или жидких), таких как атмосферные ядра конденсации, которые служат основой для формирования капелек или кристаллов.

Снижение водности тумана:

- 1) Выпадение осадков (дождь, снег) из тумана, что уменьшает его содержание влаги;
- 2) Повышение температуры воздуха, что стимулирует испарение капелек;
- 3) Процесс переконденсации, описанный ранее, при котором водные капли испаряются, а ледяные кристаллы растут за счет параллельного конденсации пара [1].

1.4 Актуальность анализа процессов туманообразования в г. Мурманск

Климат любого района представляет собой устойчивую картину состояния погоды, сложившуюся на протяжении длительного периода. Он характеризуется комплексом постоянных метеорологических показателей – таких как температурный режим, уровень влажности, параметры воздушных потоков и другие атмосферные явления. Для точной оценки климатических особенностей региона необходим анализ данных за продолжительный временной отрезок, поскольку наблюдения в рамках ограниченных временных рамок (месячных, сезонных или годовых) не позволяют получить объективную и полную картину климатических условий [6].

Климат района складывается под влиянием:

- 1) притока солнечного тепла, зависящего от высоты солнца под горизонтом, т. е. от широты места, времени года и суток;
- 2) атмосферной циркуляции, повторяемости циклонов, антициклонов и воздушных масс различного происхождения, несущих характерную для них погоду;

3) физико – географических условий данного места, характера подстилающей поверхности (снег или почва, наличие или отсутствие растительности), окружающего рельефа, высоты места, а в условиях города и степени застройки отдельных его районов и т. д.

Основные климатические условия, определяющие общий климат города Мурманска, в пределах его территорий имеют схожие характеристики. Однако микроклимат (местный климат отдельных районов) формируется под влиянием уникальных локальных факторов (топография, рельеф, растительность и др.), что приводит к различиям между районами. Эти микроклиматические особенности проявляются только в нижних слоях атмосферы (близко к поверхности почвы) и становятся менее заметными с ростом высоты над землей.

Адвективные туманы в городе возникают преимущественно в тёплое время года. Их формирование происходит следующим образом: Воздушные массы с юга (из северных регионов Атлантики) или с материка перемещаются над поверхностью Баренцева моря, где их температура снижается из-за охлаждения над холодной водой. Это приводит к конденсации влаги, образованию тумана над морем. Северные ветры переносят этот туман к береговой линии и в Кольский залив. Днём туман поднимается вверх, формируя слоистые облака, которые закрывают вершины местных сопков. Ночью он может опускаться до земли, образуя приземный туман, иногда достигающий центра Мурманска. Таким образом, адвективные туманы в Мурманске являются сезонными явлениями, связанными с взаимодействием воздушных масс, морской поверхности и местных ветров [10].

Радиационные туманы могут формироваться в любое время года, если в ночное время наблюдается: Ясное небо и отсутствие ветра, что усиливает теплоотдачу поверхности. Высокая влажность нижнего слоя атмосферы (благодаря испарению воды с почвы или открытых водных поверхностей). Радиационное охлаждение воздушной массы, приводящее к конденсации влаги и образованию тумана.

Минимальная вероятность возникновения в период полярного дня (лето), когда ночи кратковременны, а солнечная активность поддерживает температуру воздуха. Наибольшая вероятность в осенние месяцы, когда устанавливаются продолжительные ночи, что усиливает радиационное охлаждение. Воздух сохраняет высокую абсолютную влажность за счет испарения воды с почвы (пока температура поверхности еще не опустилась до нулевой отметки). Таким образом, радиационные туманы в Мурманске наиболее характерны для осени, когда сочетаются благоприятные условия для их формирования.

Фронтальные туманы в Мурманске наблюдаются редко. Наиболее вероятны они осенью и зимой.

Туманы испарения возникают над поверхностью теплой воды Кольского залива при притоке с материка холодных воздушных масс с температурой до -8°C , -10°C и ниже. Ключевым фактором их формирования является значительное различие в насыщающих давлениях пара над водой и в холодном воздухе. Это происходит из-за большой температурной разницы между теплой водной поверхностью и холодным воздухом, который перемещается над ней. Такие условия наиболее часто наблюдаются с октября по апрель, когда резкие похолодания увеличивают контраст между температурой воды и воздуха. Максимальная вероятность образования туманов испарения приходится на середину зимы (с декабря по февраль), когда разница температур достигает максимума [4].

При интенсивном развитии туман испарения распространяется за береговую линию, окутывая прибрежные зоны. Закрывает такие критически важные объекты, как:

- 1) Торговый и рыбный порты;
- 2) Судоверфь;
- 3) Железнодорожный узел.

Это явление особенно опасно при сильных морозах, когда туман сохраняется над территорией города длительное время.

Наибольшее количество дней с туманом и самая высокая их длительность фиксируются в декабре, в период полярной ночи. Минимальное количество дней и самая короткая длительность наблюдаются в июне, в условиях полярного дня. Средняя продолжительность тумана за сутки изменяется от 2 часов в июне до 8 часов в декабре.

В зимние месяцы (ноябрь – февраль) суточная длительность тумана остается стабильной, без значительных изменений. С марта начинается быстрое снижение времени тумана в дневные и вечерние периоды:

- 1) в марте – 18 % суточного времени;
- 2) в июне – менее 5 % (даже полностью отсутствует в дневные часы (12:00 – 18:00)).

Летом и осенью наблюдается возрастание времени тумана в дневные и вечерние часы, в октябре – до 30 % суточного времени.

Таким образом, июнь – это единственный месяц, когда туман в дневные часы не зафиксирован за весь период наблюдений. Декабрь – это пик, как по количеству дней с туманом, так и по его длительности [6].

2 АНАЛИЗ РЕЖИМА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕЖИМ ТУМАНОВ

2.1 Температурные характеристики Кольского залива за 10 лет

Кольский залив находится на юге Баренцева моря, примерно на 69° северной широты и 33° восточной долготы. На его берегах расположен крупнейший в регионе порт, а также административный, деловой и научный центр Северо – Запада России. Район Кольского залива отличается особыми климатическими и гидрологическими условиями, а также богатой историей освоения и развития Европейского Севера как в политическом, так и в хозяйственном отношении.

Береговая линия залива, особенно в южной части, претерпела существенные изменения из – за хозяйственной деятельности. Сюда относятся дноуглубительные работы, строительство причальных сооружений и прокладка подводных коммуникаций.

Климат в районе Кольского залива формируется контрастом физических условий между открытой водной поверхностью и прилегающей сушей. На метеорологическую обстановку существенное влияние оказывает водная масса самого залива, особенно в его северной части [14].

Одной из главных климатических особенностей северо – западной части Кольского полуострова является резкое возрастание континентальности климата по мере удаления от побережья Баренцева моря. Это проявляется в увеличении градиентов ключевых климатических показателей.

В настоящее время климатические наблюдения в районе Кольского залива ведутся двумя береговыми гидрометеорологическими станциями. Станция «Мурманск» осуществляет измерения в южном колене залива, а станция «Полярное» – в его северной и центральной частях.

Долгие годы, более ста лет, исследования также проводились на гидрометеорологической станции «Кола», расположенной у вершины залива. Однако эта станция была закрыта в 1974 году. Именно там был накоплен ценный

ряд наблюдений, позволивший учитывать микроклиматические особенности одного из самых экологически значимых участков побережья Кольского залива [11].

Средний многолетний температурный режим Мурманска формируется под влиянием преобладающего притока тёплого атлантического воздуха в зимний период и более прохладных воздушных масс с Баренцева моря летом. Поэтому зимы в Мурманске аномально теплые для данной широты, а лето – относительно прохладное. Морозные дни с суточной средней температурой ниже -20° , -25° и -30° наблюдаются нечасто, как и жаркие летние дни с температурой выше $+20^{\circ}$ (Табл. 1).

Таблица 1 – Средний многолетний температурный режим с 2014 по 2024г.

Средний многолетний температурный режим с 2014 по 2024г.											
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Январь	-13,5	-11,8	-16,5	-7,9	-9,4	-12,2	-8,7	-11,1	-8,0	-5,3	-10,6
Февраль	-6,7	-5,7	-4,9	-7,6	-10,6	-9,5	-5,8	-12,9	-7,6	-6,8	-9,1
Март	-3,2	-0,9	-2,4	-3,5	-8,0	-5,1	-3,8	-4,4	-2,9	-7,9	-3,4
Апрель	-1,5	0,9	1,8	-2,0	0,2	1,9	-1,0	1,8	-0,3	0,8	-2,8
Май	3,4	6,9	8,9	2,0	7,6	4,6	5,0	3,6	4,8	8,6	4,4
Июнь	6,3	9,8	10,5	6,8	9,6	8,6	10,7	13,1	11,6	10,3	12,5
Июль	8,7	9,9	16,1	14,2	18,1	10,7	15,7	14,0	15,9	12,8	16,6
Август	10,3	12,5	12,5	11,3	12,9	10,7	11,7	11,8	14,8	14,3	15,7
Сентябрь	10,1	9,6	8,9	7,4	9,0	8,3	8,6	6,1	7,5	10,3	11,6
Октябрь	5,4	2,6	2,5	1,9	1,4	-0,9	3,0	2,0	3,5	0,0	3,6
Ноябрь	-2,5	-2,1	-3,8	-3,7	-0,1	-6,4	0,2	-5,5	-2,1	-6,8	-1,6
Декабрь	-4,9	-5,8	-4,9	-8,0	-5,4	-4,5	-5,4	-9,2	-7,3	-10,2	-8,0
Минимум, Т	-13,5	-11,8	-16,5	-8,0	-10,6	-12,2	-8,7	-12,9	-8,0	-10,2	-10,6
Максимум, Т	10,3	12,5	16,1	14,2	18,1	10,7	15,7	14,0	15,9	14,3	16,6
Среднегодовая t в зимний период	-5,4	-4,2	-5,1	-5,5	-5,6	-6,0	-4,1	-6,9	-4,7	-6,0	-5,9
Среднегодовая t в летний период	7,4	8,6	9,9	7,3	9,8	7,0	9,1	8,4	9,7	9,4	10,7
Средняя с 2014 по 2024	1,7										

Как видно из таблицы 1, самые низкие значения температурных показателей наблюдаются в январе – феврале, а самые высокие – в июле – августе. Наступление минимальных температур происходит на месяц позже, чем в более континентальных регионах, что является типичной чертой морского климата. Момент достижения максимальных температур совпадает с таковым для континентальных районов.

Наибольшая изменчивость среднемесячной температуры отмечается в период с декабря по март, тогда как её наименьшие значения фиксируются в конце лета и в начале осени – в августе – сентябре.

В холодный сезон, который длится с ноября по апрель включительно, на фоне относительно мягкой погоды иногда наблюдаются морозные дни с температурой ниже $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такие дни могут случаться уже в ноябре – примерно раз в два года. В декабре подобные морозы возникают около четырёх раз, а в январе и феврале – до семи раз в год. К марту частота морозных дней снижается до двух случаев, а в апреле – всего один раз за десять лет. В среднем за весь холодный период фиксируется около 19 дней с температурой ниже $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Рис. 1).

При этом сильные морозы в типичных зимних условиях обычно носят кратковременный характер.

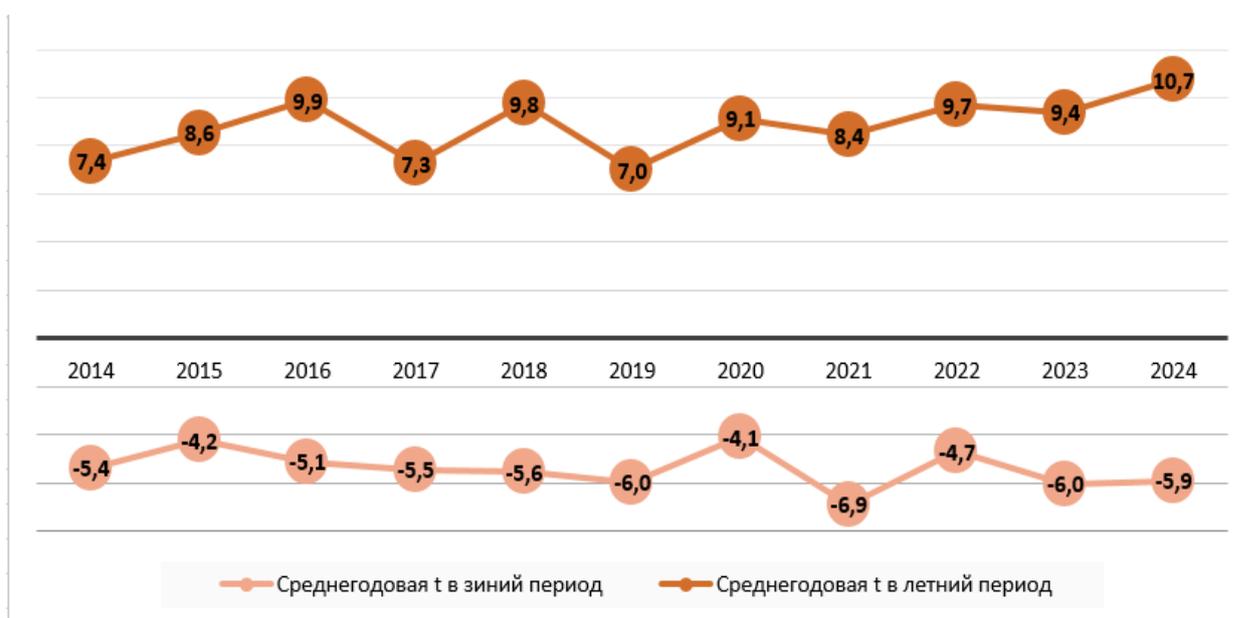


Рисунок 1 – Среднегодовое температурное режим Кольского полуострова с 2014 по 2024 год

В Мурманске похолодания, как правило, носят кратковременный характер, что подтверждается данными рисунка 1. В каждом месяце холодного сезона (с ноября по апрель) отмечаются дни с оттепелями. Наиболее частые оттепели приходятся на октябрь и апрель – в эти месяцы они наблюдаются более чем в половине случаев. В ноябре бывает в среднем около 10 дней с оттепелями, в декабре и марте – около 5 дней, в январе – примерно 3 дня, а в феврале – около 2 дней.

Круглосуточные оттепели происходят значительно реже: в октябре их бывает в среднем около 16 дней, в ноябре – около 3 дней, в декабре – около одного дня, а в апреле – около 6 дней. В январе и феврале такие оттепели случаются крайне редко – не чаще 5 дней за 100 лет, а в марте – не более одного дня за 10 лет. Примечательно, что в отдельные годы оттепели могли полностью отсутствовать в одном из месяцев холодного периода. Так, полное отсутствие оттепелей наблюдалось в 10% случаев в декабре, в 18 % – в январе, в 28 % – в феврале и в 8 % – в марте.

В тёплый период года (с мая по сентябрь) в Мурманске в среднем регистрируется около 24 жарких дней с температурой не ниже 20 °С. Чаще всего такие дни наблюдаются в июле – в 98 % лет, в августе – в 89 % случаев, в июне – в 83 %, а в мае – лишь в 25 %. В сентябре жаркие дни встречаются крайне редко – всего в 9 % лет.

Во время жаркой погоды суточная амплитуда температуры обычно составляет 10 – 15 °С и более, поэтому температура воздуха в течение суток редко остаётся на уровне выше 20 °С круглые сутки – минимальные значения всегда опускаются ниже этой отметки, даже в самые тёплые июльские дни.

Кроме того, в тёплый период возможны и заморозки. В среднем за сезон фиксируется около 19 дней с отрицательными температурами: из них 15 приходится на май и по 2 дня – на июнь и сентябрь. В июле заморозков, как правило, не бывает. В среднем последние заморозки заканчиваются 1 июня, а первые осенние возвращаются примерно 19 сентября. Таким образом, средняя продолжительность безморозного периода составляет около 109 дней. Однако в отдельные годы начало и окончание заморозков могут значительно варьироваться, что влияет на длительность безморозного сезона.

Среднегодовой температурный режим Мурманска характеризуется ежегодным переходом средней температуры через отметки – 5°, 0°, + 5° и + 10°. Однако устойчивого перехода через температуру – 10° не происходит каждую зиму – в 12 % случаев он вообще не наблюдается. В особо холодные зимы средняя температура может опускаться ниже – 15°, но такое случается лишь

в 8 % лет. Переход через уровень $+ 15^{\circ}$ возможен в очень тёплые летние сезоны, однако и он редок – фиксируется только в 6 % случаев.

Формирование температурного режима в Мурманске во многом обусловлено адвекцией воздушных масс различного происхождения. Особенно заметно её влияние зимой и летом, когда разница температур между воздушными массами, поступающими с Баренцева моря и с континента, наиболее выражена. Также на температуру воздуха оказывает влияние трансформация воздушных масс: их нагревание в летнее время или выхолаживание зимой и ночью при антициклонической погоде. Однако устойчивая антициклоническая погода встречается реже, чем неустойчивая циклоническая. Поэтому каждое направление ветра связано со своим характерным температурным режимом, который отличается от общей средней температуры, не зависящей от направления ветра. Таким образом, любая температурная характеристика в Мурманске находится в прямой зависимости от направления ветра [11].

2.2 Анализ относительной влажности воздуха и ветрового режима

Относительная влажность – это показатель, характеризующий степень насыщения воздуха водяным паром по сравнению с максимально возможным его содержанием при текущих условиях и состоянии термодинамического равновесия. Другими словами, относительная влажность выражает отношение реального количества водяного пара в воздухе к предельному количеству пара, которое может удерживаться при определённой температуре.

Влажность воздуха характеризуется:

- 1) упругостью водяного пара;
- 2) относительной влажностью, или отношением упругости водяного пара при данной температуре к насыщающей упругости при этой температуре;
- 3) недостатком насыщения, или разностью между насыщающей и фактической упругостью водяного пара при данной температуре.

Эти показатели влажности изменяются как в течение суток, так и по сезонам года. В условиях Мурманска их величина во многом зависит также и от направления ветра.

Данные многолетней влажности воздуха, представленные в таблице 2, демонстрируют, что годовые изменения упругости водяного пара и недостатка насыщения имеют схожую динамику. Наименьшие значения этих показателей приходятся на январь и февраль, максимальные – на август, а пик недостатка насыщения – на июль. Годовой ход относительной влажности противоположен этим циклам: самая высокая относительная влажность (91,2 %) наблюдалась в октябре 2016 года, а самая низкая (59,1 %) – в мае того же года.

Суточный ход относительной влажности, согласно ежечасным наблюдениям, в зимние месяцы вплоть до февраля включительно практически отсутствует. В марте и апреле, а также осенью наибольшая относительная влажность регистрируется примерно с 6 до 7 часов утра, а с мая по август – в период с 2 до 4 часов ночи. Максимальные значения влажности обычно наблюдаются в послеобеденные часы – с 14 до 15 часов (Табл. 2).

Таблица 2 – Средняя многолетняя относительная влажность с 2014 по 2024г

Средняя многолетняя относительная влажность с 2014 по 2024г.											
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Январь	87,6	87,6	87,2	87,0	86,5	85,4	84,1	83,0	81,9	80,8	82,4
Февраль	87,1	86,3	85,4	85,6	85,1	84,2	82,9	81,8	80,7	79,6	83,5
Март	77,7	76,8	82,6	80,5	79,6	78,5	77,6	76,5	75,4	74,3	77,9
Апрель	64,3	63,2	78,3	73,2	70,2	69,8	68,5	67,2	66,1	65,0	69,5
Май	69,6	69,4	59,1	72,1	68,4	65,3	64,7	63,3	62,1	61,0	59,9
Июнь	64,9	64,8	72,4	78,4	75,3	72,4	70,5	69,7	68,6	67,5	66,4
Июль	81,2	80,5	79,7	82,1	79,8	77,8	75,4	74,5	73,2	72,1	71,0
Август	86,7	85,2	83,6	86,7	84,2	82,6	80,1	79,3	78,0	76,9	75,8
Сентябрь	86,8	86,0	89,3	89,5	88,1	87,5	85,2	84,2	82,9	81,8	80,7
Октябрь	88,8	88,3	91,2	90,2	89,4	89,0	87,6	86,4	85,2	84,1	88,2
Ноябрь	86,9	86,5	90,5	89,8	88,9	88,3	86,8	85,7	84,5	83,4	87,1
Декабрь	88,1	87,7	89,7	88,9	87,6	86,9	85,3	84,3	83,1	82,0	86,3
Минимум, U	64,3	63,2	59,1	72,1	68,4	65,3	64,7	63,3	62,1	61,0	59,9
Максимум, U	88,8	88,3	91,2	90,2	89,4	89,0	87,6	86,4	85,2	84,1	88,2
Средняя относительная влажность	80,8	80,2	82,4	83,7	81,9	80,6	79,1	78,0	76,8	75,7	77,4
Среднегодовая U в зимний период	82,0	81,4	85,6	84,2	83,0	82,2	80,9	79,8	78,6	77,5	81,1
Среднегодовая U в летний период	79,7	79,0	79,2	83,2	80,9	79,1	77,3	76,2	75,0	73,9	73,7
Средняя с 2014 по 2024	79,7										

Таким образом, пики относительной влажности совпадают по времени с минимальными температурами воздуха, тогда как самые низкие показатели влажности отмечаются при наиболее высоких температурах.

Суточная амплитуда относительной влажности возрастает с февраля, когда она близка к нулю, до июля, где достигает 23 %, после чего с августа начинает снижаться, возвращаясь к нулевому значению к ноябрю.

Помимо регулярных суточных колебаний, относительная влажность подвергается более значительным неперiodическим изменениям, обусловленным такими факторами, как выпадение осадков или изменение направления ветра. Особенно высокой изменчивости влажность подвержена в дневное время. Даже в декабре в некоторые дни уровень влажности может опускаться ниже 60 %, а в июле и августе – даже ниже 20 %. При этом в те же месяцы в дневные часы относительная влажность может превышать 80 % (Рис. 2).

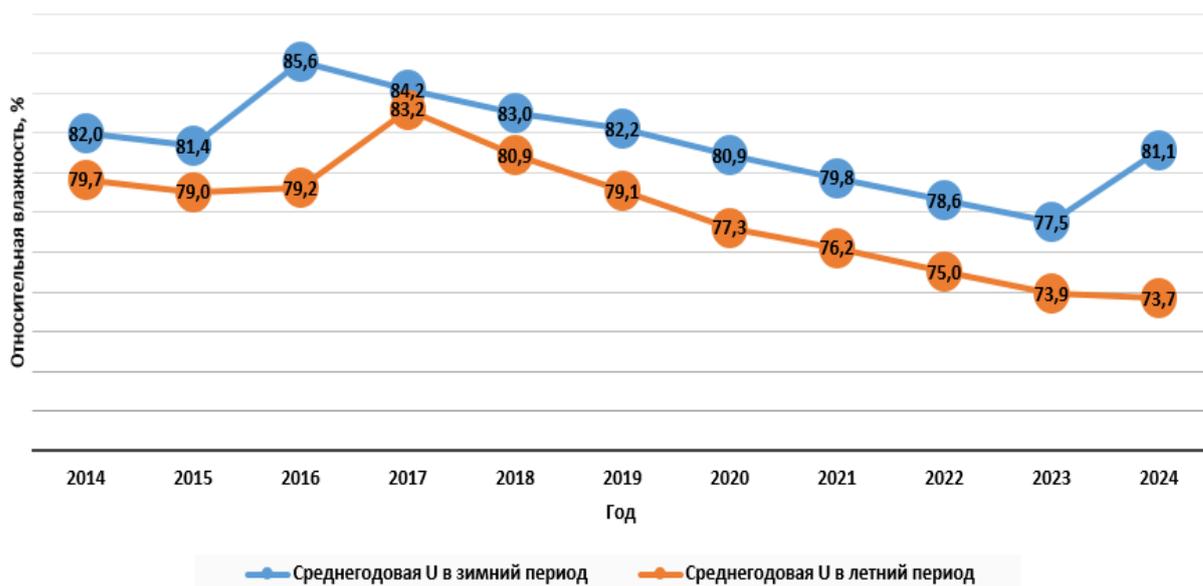


Рисунок 2 – Средняя многолетняя относительная влажность с 2014 по 2024 г

Наиболее влажные ветры в тёплый период года дуют с севера, несколько менее влажные – с северо – запада и северо – востока. Таким образом, основные потоки влажного воздуха поступают в это время с Баренцева моря. Напротив, самые сухие воздушные массы приходят с юго – востока, юга и юго –

запада – то есть с континента. Максимальные различия в относительной влажности, связанные с направлением ветра, отмечаются в июле; к началу осени (в сентябре) эти различия значительно уменьшаются. Аналогичным образом на повторяемость сухих дней также влияет направление ветра.

Сухие дни практически не наблюдаются при ветрах, поступающих с Баренцева моря (северо – западные, северные и северо – восточные). Наибольшая вероятность сухой погоды – при ветрах с юго – востока, юга и юго – запада, то есть при воздушных потоках с материка.

Суточный ход относительной влажности воздуха также связан с направлением адвекции воздушных масс, то есть с направлением ветра. Суточные колебания влажности при устойчивом направлении ветра – как с моря, так и с суши – отличаются от общего хода влажности, усреднённого по всем направлениям. Такая закономерность наблюдается с апреля по сентябрь включительно.

В любое время суток при ветрах с Баренцева моря относительная влажность остаётся выше среднего уровня, а при ветрах с континента – ниже него. При этом суточная амплитуда влажности при морских ветрах меньше, чем при континентальных.

Относительная влажность находится в обратной зависимости от температуры воздуха – как правило, снижается при её повышении. Однако при одинаковой температуре воздуха относительная влажность может варьироваться в достаточно широких пределах.

Перераспределение направлений ветра с зимы на лето происходит по типу муссонов: в холодное время года преобладают южные ветры, дующие с континента, а летом – северные, приходящие с Баренцева моря. Весной и осенью направление ветра менее устойчиво, однако осенью всё же чаще наблюдаются южные потоки.

Летом повторяемость ветров северной четверти (северо – западные, северные и северо – восточные), поступающих с Баренцева моря, составляет около 55 %, тогда как зимой она снижается до 15 %. Напротив, ветры южной

четверти (юго – восточные, восточные и юго – западные), приносящие воздух с континента, наиболее часты зимой – их повторяемость достигает 79 %, а летом падает до 37 % (Табл. 3).

Таблица 3 – Средняя многолетняя скорость ветра с 2014 по 2024г

Средняя многолетняя скорость ветра с 2014 по 2024г.											
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Январь	2,4	2,3	2,7	2,9	2,4	2,5	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9
Февраль	2,6	2,5	2,6	3,1	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2
Март	3,3	3,2	3,8	3,4	3,5	3,3	3,2	3,1	2,8	2,9	2,8
Апрель	2,7	2,9	3,5	3,2	3,1	3,0	3,0	2,9	2,7	2,7	2,6
Май	2,9	3,2	3,2	3,0	2,9	2,8	2,9	2,8	3,1	2,6	2,5
Июнь	3,4	3,7	3,8	3,5	3,6	3,4	3,3	3,2	2,6	3,0	2,9
Июль	2,8	2,7	3,3	2,8	3,0	2,9	2,8	2,7	2,3	2,5	2,4
Август	2,4	2,3	2,5	2,4	2,7	2,6	2,5	2,4	2,8	2,2	2,1
Сентябрь	2,9	2,5	3,1	2,9	3,2	3,1	3,0	2,9	3,0	2,7	2,6
Октябрь	3,2	3,2	3,3	3,1	3,4	3,3	3,2	3,1	2,5	2,9	3,1
Ноябрь	2,5	2,9	2,8	2,7	2,9	2,8	2,7	2,6	2,2	2,4	2,6
Декабрь	2,7	3,5	2,6	2,5	2,6	2,5	2,4	2,3	2,0	2,1	2,5
Минимум, Ff	2,4	2,3	2,5	2,4	2,4	2,5	2,3	2,2	2,0	2,0	1,9
Максимум, Ff	3,4	3,7	3,8	3,5	3,6	3,4	3,3	3,2	3,1	3,0	3,1
Средняя скорость ветра	2,8	2,9	3,1	3,0	3,0	2,9	2,8	2,7	2,5	2,5	2,5
Среднегодовая Ff в зимний период	2,7	2,9	3,0	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4	2,4	2,4
Среднегодовая Ff в летний период	2,9	2,9	3,2	3,0	3,1	3,0	3,0	2,9	2,7	2,7	2,6
Средняя с 2014 по 2024	2,8										

На побережье Кольского залива в дневное время чаще наблюдаются западные ветры, а вечером – восточные. Такая суточная смена направления ветра обычно происходит при слабо выраженном или безградиентном барическом поле, однако этот цикл чётко проявляется даже в средних данных.

Характеристики скорости ветра отличаются значительными годовыми колебаниями. Зимой увеличение активности и частоты циклонов приводит к росту средней скорости ветра, числа дней с ветром свыше 15 м/с и продолжительности сильных ветров. Одновременно снижается вероятность тихой или маловетреной погоды. Летом, напротив, из – за уменьшения циклонической активности и возрастания роли антициклонов, наблюдается снижение интенсивности ветра и увеличение доли тихих дней.

Согласно данным таблицы 3, самая низкая средняя скорость ветра, составляющая 1,9 м/с, была зафиксирована в январе 2024 года, тогда как самая высокая средняя скорость ветра – 3,8 м/с – наблюдалась в июне 2016 года.

Повторяемость северного ветра весной возрастает особенно резко – почти в два раза – в период с апреля на май (Рис. 3). Это явление связано с увеличением облачности в мае по сравнению с апрелем.

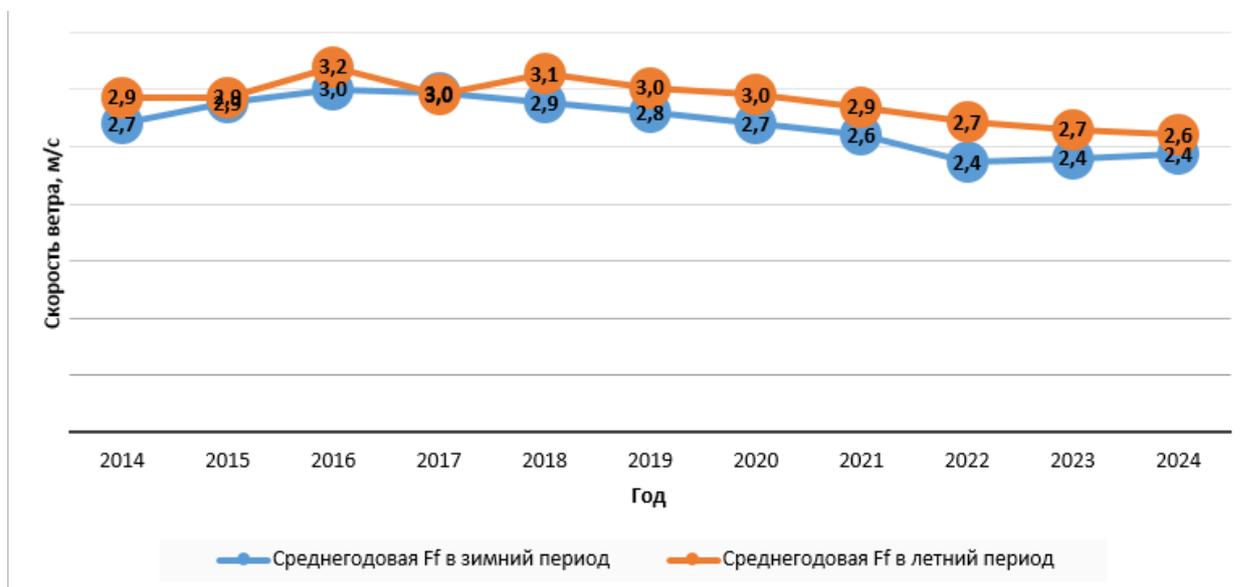


Рисунок 3 – Средняя многолетняя скорость ветра с 2014 по 2024г

В тёплый сезон года, с мая по сентябрь, особенно летом, направление ветра демонстрирует выраженную суточную цикличность. В ясные или малооблачные дни, когда амплитуда суточного хода температуры значительна, а средняя суточная скорость ветра невысока, направление ветра меняется в течение суток. Утром или ночью в такие периоды чаще наблюдаются южные ветры, приходящие с континента, а днём – северные потоки, поступающие с Баренцева моря.

На основе рассчитанных данных о сезонных средних значениях влажности и скорости ветра (Табл. 4), проведем анализ:

Таблица 4 – Сезонные средние значения по влажности и скорости ветра

Сезонные средние значения		
Сезон	Средняя влажность (%)	Средняя скорость ветра (м/с)
Зима	87,3	3,1
Весна	75,3	3,6
Лето	80,2	2,5
Осень	89,2	2,9

Самая высокая влажность наблюдается осенью – 89,2 %, что может быть связано с более теплой водой Баренцева моря, которая способствует интенсивному испарению и увеличению содержания влаги в воздухе.

Самая низкая влажность отмечена весной – 75,3 %, вероятно, из – за более активного испарения с поверхности суши и влияния континентальных воздушных масс, которые приносят относительно сухой воздух.

Зима и лето имеют близкие значения влажности – 87,3 % и 80,2 % соответственно, но зимняя влажность выше, что можно объяснить более холодными температурами воздуха, который насыщается влагой даже при низких значениях абсолютной влажности.

Самая высокая скорость ветра наблюдается весной – 3,6 м/с., что может быть связано с активностью циклонов и антициклонов в этот период, а также с переходным характером погоды между зимой и летом.

Самая низкая скорость ветра отмечена летом – 2.5 м/с., что соответствует более стабильным условиям атмосферы и меньшей разнице давлений между различными регионами.

Зима и осень имеют близкие значения скорости ветра – 3.1 м/с. и 2.9 м/с. соответственно, что указывает на относительную стабильность ветровых условий в эти сезоны.

2.3 Статистические характеристики режимов туманов

На основе доступных данных и обобщённых климатических характеристик Кольского полуострова и Мурманска, можно рассмотреть статистические особенности режима туманов в этом регионе.

В среднем в год в Мурманске и прибрежных районах Кольского полуострова наблюдается от 10 до 30 дней с туманом (Табл. 5).

Число дней с туманом колеблется от года к году, но в среднем составляет от 5 до 26 дней в год.

Таблица 5 – Частота туманов по годам

Год	Число дней с туманом
2015	11
2016	15
2017	12
2018	12
2019	9
2020	21
2021	11
2022	5
2023	26
2024	16
Среднее	14

Максимум туманов приходится на зимние и весенние месяцы (январь – май), что характерно для адвективных и ледяных туманов (Табл. 6). Некоторые случаи связаны с сильной мглой, алмазной пылью и снежными зёрнами, что тоже классифицируется как туманообразные явления.

Таблица 6 – Число туманных дней по месяцам

Месяц	Число туманных дней по месяцам
Январь	28
Февраль	10
Март	7
Апрель	4
Май	3
Июнь	2
Июль	2
Август	12
Сентябрь	17
Октябрь	18
Ноябрь	22
Декабрь	13
Среднее с сентября по январь	20
Среднее с февраля по август	6

Наибольшее количество туманов отмечается:

В период с сентября по январь – около 20 случаев за все года.

В период с февраля по август – около 6 случаев за все года.

Летом туманы менее часты – в июне–августе около 2 – 10 дней с туманом в месяц.

Основной причиной частых туманных образований происходит из – за высоких температур поверхности Баренцева моря и резких перепадов температур между морем и воздухом, также весомым аргументом является активная циклоническая деятельность. В весеннее время осуществляется прогревание суши быстрее, чем моря, а также частыми переходами воздушных масс с континента на море и обратно. Летом преобладают утренние радиационные туманы на побережье и в прибрежных долинах.

Прибрежные районы (включая Мурманск) имеют более высокую повторяемость туманов, особенно в осенние месяцы, из – за близости к Баренцеву морю. Внутриконтинентальные участки Кольского полуострова характеризуются меньшим числом туманных явлений – преимущественно радиационные туманы в пониженных формах рельефа. Туманы наиболее вероятны в зонах

температурного фронта «море – суша», где происходит резкая смена свойств воздушных масс.

Адвективные туманы – самые распространённые в осенне – весенний период. Формируются при перемещении тёплого и влажного воздуха над холодной подстилающей поверхностью (морем или сушей).

Радиационные туманы – развиваются ночью и ранним утром в ясные, слабо ветренные дни, чаще в летнее время.

Фронтальные туманы – связаны с прохождением тёплых и холодных фронтов, особенно весной и осенью.

На Кольском полуострове, особенно в прибрежных районах, часто бывают морские туманы, связанные с перемещением влажного воздуха с Баренцева моря на более холодную сушу – это пример адвективного тумана, который возможен даже при небольшом ветре. Внутриконтинентальные районы полуострова чаще испытывают радиационные туманы, особенно осенью и весной, когда ночью температура падает, а ветер стихает.

При слабом ветре (0 – 2 м/с) воздух у поверхности земли может охладиться достаточно равномерно. В таких условиях происходит застой холодного воздуха, особенно ночью или рано утром. Это создаёт идеальные условия для радиационного тумана (образуется при охлаждении земной поверхности после захода солнца).

При усиленном ветре (> 3 – 4 м/с) происходит перемешивание тёплого и холодного воздуха. Холодный приземной воздух смешивается с более тёплым верхним слоем, что не позволяет ему остыть до точки росы. В результате конденсация водяного пара не происходит, и туман не образуется.

Если тёплый и влажный воздух перемещается над холодной поверхностью (например, над морем или снежным покровом), то даже при наличии умеренного ветра может образоваться адвективный туман. Такой тип тумана часто наблюдается на побережьях Кольского полуострова (Табл. 7).

Таблица 7 – Зависимость тумана от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	Возможность образования тумана	Тип тумана
0 – 2	Высокая	Радиационный
2 – 4	Умеренная	Адвективный
> 4	Низкая/невозможная	

На Кольском полуострове, особенно в прибрежных районах, часто бывают морские туманы, связанные с перемещением влажного воздуха с Баренцева моря на более холодную сушу – это пример адвективного тумана, который возможен даже при небольшом ветре.

Внутриконтинентальные районы полуострова чаще испытывают радиационные туманы, особенно осенью и весной, когда ночью температура падает, а ветер стихает.

3 АНАЛИЗ СОЧЕТАНИЯ ТУМАНОВ С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ И СИНОПТИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА

3.1 Анализ повторяемости туманов с температурно – влажностными характеристиками

Температура воздуха является одним из главных факторов, влияющих на возникновение, развитие и исчезновение тумана.

Туман представляет собой скопление мельчайших капелек воды или кристаллов льда в нижнем слое атмосферы. Он образуется, когда температура воздуха снижается до точки росы – значения, при котором содержащийся в воздухе водяной пар начинает конденсироваться, то есть превращаться в жидкую фазу.

Когда температура падает до уровня точки росы, происходит процесс конденсации, который и приводит к формированию тумана. Чаще всего это случается ночью или ранним утром, когда земная поверхность охлаждается после захода солнца. Такой тип тумана называется радиационным [2].

При восходе солнца и последующем нагревании земной поверхности температура воздуха повышается. Воздух становится способен удерживать больше влаги в виде пара, в результате чего капли тумана постепенно испаряются, и он рассеивается.

Если температура опускается ниже нуля градусов, туман может состоять не из водяных капель, а из кристаллов льда. Такой вид тумана называют морозным или ледяным. Он встречается в холодных климатических условиях, например, зимой на Кольском полуострове.

Таким образом, температура играет ключевую роль в жизни тумана: её понижение создаёт условия для его формирования, а повышение – способствует исчезновению [5].

На основании анализа данных о повторяемости туманов в сочетании с температурно – влажностными условиями, представляется возможным составить соответствующую таблицу, отражающую взаимосвязь этих параметров (Табл. 8).

Таблица 8 – Зависимость тумана от температурного диапазона и относительной влажности

Температурный диапазон, °С	Относительная влажность, %	Повторяемость туманов	Характеристика тумана	Вероятная причина образования тумана
< – 20	90 – 100	Высокая	Ледяной туман, изморозь, алмазная пыль	Испарение над морем при очень низких температурах
– 20...– 5	85 – 100	Очень высокая	Ледяной туман, сильная мгла	Адвекция теплого влажного воздуха на холодную поверхность суши
– 5...+ 5	90 – 100	Высокая	Туман, мгла, иногда радиационный	Смешивание воздушных масс, ночное охлаждение, инверсия температуры
+ 5...+ 15	80 – 95	Умеренная	Редкие радиационные туманы	Ночное охлаждение при высокой влажности
> + 15	< 90	Очень низкая	Очень редко	Высокая температура подавляет формирование тумана

Анализ условий формирования туманов показывает, что их появление в регионе Кольского залива имеет выраженную сезонную зависимость и тесно связана с температурным режимом атмосферы.

При температурах ниже – 20 °С влажность воздуха практически всегда находится на уровне 90 – 100 %, что создаёт благоприятные условия для формирования плотных туманов. В таких условиях преобладают ледяной туман, изморозь и алмазная пыль, возникающие вследствие испарения воды с открытых участков Баренцева моря и последующего быстрого замерзания капель в холодном атмосферном воздухе. Эти явления часто сопровождаются осаждением инея на поверхностях.

В диапазоне от – 20 до – 5 °С наблюдается высокая повторяемость туманов, особенно адвективного и ледяного типов. Формирование тумана происходит при вторжении относительно тёплого и влажного воздушного потока

с акватории моря на холодную подстилающую поверхность суши. В этот период влажность воздуха остаётся близкой к насыщению (до 100 %), что способствует образованию плотного тумана с резким снижением видимости.

При температуре от -5 до $+5$ °С возможны различные типы туманов: адвективный, радиационный и мгла. Высокая влажность (90 – 100 %) обеспечивает длительное сохранение тумана, особенно в утренние и вечерние часы. Этот температурный диапазон характеризуется переходными процессами, когда происходят частые изменения воздушных масс – от континентальных к морским и обратно.

В условиях положительных температур ($+5...+15$ °С) туманы встречаются значительно реже. Преобладают радиационные туманы, которые развиваются при ясной погоде и высокой влажности. Такие туманы быстро рассеиваются после восхода солнца и носят преимущественно утренний характер.

При температурах выше $+15$ °С туманы практически не наблюдаются, поскольку высокая температура препятствует конденсации водяного пара. Исключением могут быть специфические ситуации, например, появление локальной мглы над побережьем после дождя или при резком охлаждении прибрежного воздуха.

Туманы в регионе Кольского залива и Мурманска имеют выраженную сезонную зависимость и в основном формируются при отрицательных температурах, особенно при вторжении морских воздушных масс. Летом туманы маловероятны и носят эпизодический характер. Наиболее частые и плотные туманы связаны с поступлением тёплого и влажного воздуха с Баренцева моря, что делает их важным элементом климатического режима региона.

3.2 Оценка повторяемости туманов с показателями ветрового режима и влажностью воздуха

Туман в регионе Мурманска и Кольского залива напрямую зависит от направления и силы ветра. Южные и западные ветры, приносящие влажный

морской воздух, являются основными причинами образования плотных туманов. Слабый ветер или штиль способствуют развитию радиационных туманов, а северные потоки – ледяных и с изморозью. Таким образом, ветер не только влияет на вероятность возникновения тумана, но и определяет его тип и продолжительность (Табл. 9).

Таблица 9 – Зависимость тумана от ветра и относительной влажности

Направление ветра	Относительная влажность, %	Характеристика тумана	Частота случаев (за 10 лет)
Юго – юго – запад	> 90	Адвективный туман, ледяной туман	15
Юг	> 85	Туман, сильная мгла	49
Юго – восток	> 80	Смешанный туман	1
Юго – запад	> 81	Туман, ледяной туман, сильная мгла	19
Юго – юго – восток	> 80	Смешанный туман	3
Север	> 72	Туман, ледяной туман	15
Северо – северо – запад	< 70	Редкие радиационные туманы	1
Северо – северо – восток	> 78	Туман, ледяной туман, мгла	15
Северо – восток	> 65	Туман с отложением изморози	6
Северо – запад	> 49	Туман, ледяной туман, мгла	2
Запад – юго – запад	> 89	Ледяной туман, сильная мгла	6
Запад – северо – запад	> 65	Туман с отложением изморози	3
Восток – северо – восток	> 80	Смешанный туман	5
Восток	> 85	Ледяной туман, изморозь	5
Штиль	> 90	Радиационный туман	29
Запад	> 85	Туман, связан с морским воздухом	1

Наиболее часто туманы в районе Кольского залива и Мурманска возникают при юго – юго – западном направлении ветра (ЮЮЗ), когда с Баренцева моря на холодную подстилающую поверхность суши переносится теплый

и влажный воздух. При этом влажность составляет более 90 %, а температурные условия способствуют образованию адвективного или ледяного тумана, нередко сопровождаемого изморозью. Это направление является наиболее частым источником туманов (Рис. 4).

Не менее значимо влияние южного ветра (Ю), при котором также наблюдаются адвективные туманы, иногда с изморозью. Влажность в таких случаях превышает 85 %, а формирование туманов связано с переходом морских воздушных масс на сушу. Частота случаев относится к высокой категории.

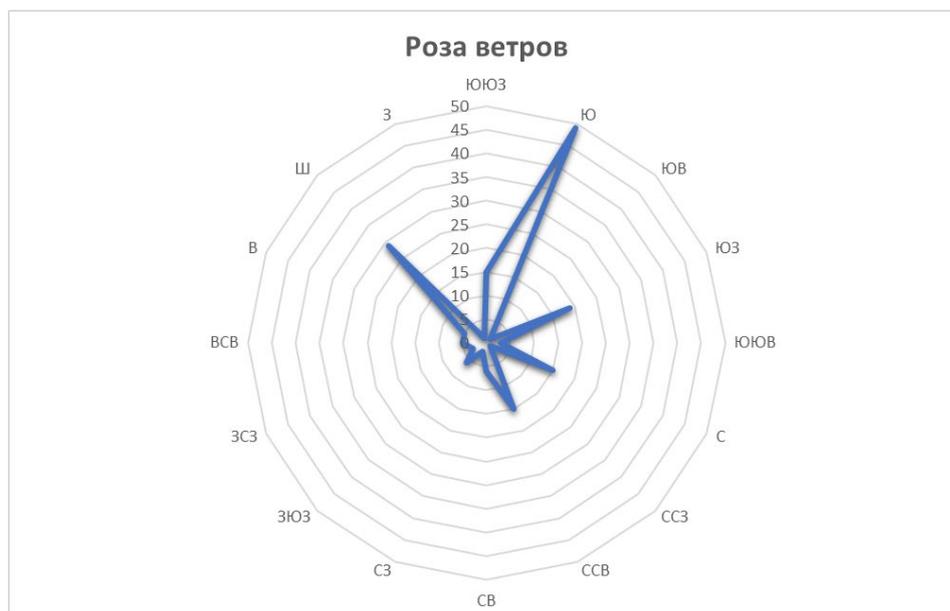


Рисунок 4 – Роза ветров за 10 лет

При юго – восточном направлении ветра (ЮВ), характеризующемся влажностью выше 80 %, чаще всего развиваются туманы смешанного типа. Данный тип туманов обусловлен взаимодействием континентальных и морских воздушных масс. Частота их возникновения – умеренная.

Реже всего туманы формируются при северо – северо–западном направлении ветра (ССЗ), когда поступает сухой и холодный воздух с моря. Влажность в этих случаях редко превышает 70 %, а туманы носят радиационный характер и возникают крайне редко.

Туманы при восточном ветре (В), несмотря на континентальное происхождение воздушной массы, могут формироваться при влажности свыше 85 % и имеют преимущественно ледяной характер или сопровождаются изморозью. Такие явления связаны с сочетанием холода с континента и влажности над побережьем и встречаются с умеренной частотой.

При штиле возможны радиационные туманы, особенно в утренние часы летом и осенью, при этом влажность обычно превышает 90 %. Эти туманы формируются вследствие ночного охлаждения при высокой влажности и происходят с умеренной повторяемостью.

Направление ветра с запада (З) также способствует развитию туманов, преимущественно адвективного типа, особенно в холодное время года – зимой и весной. Влажность при этом остаётся высокой – более 85 %, а причина заключается в поступлении морского воздуха. Частота туманов при этом направлении – высокая.

Таким образом, южные и западные направления ветра являются основными факторами формирования туманов, при этом решающими условиями выступают высокая влажность и температурный контраст между морем и сушей.

Наиболее часто туманы формируются при поступлении влажного морского воздуха с южных и западных направлений. В таких условиях создаются благоприятные условия для развития адвективных туманов, особенно в холодное время года.

Одним из ключевых факторов возникновения туманов является высокая относительная влажность, превышающая 85 %. При значениях влажности выше 90 % значительно возрастает вероятность образования ледяного тумана и изморози, что характерно для периодов с отрицательными температурами.

В условиях штиля или слабого ветра возможны радиационные туманы, которые чаще всего наблюдаются летом и осенью – преимущественно в утренние часы при ясной погоде и высокой влажности.

Направления ветра с севера, как правило, реже приводят к образованию туманов. Это связано с тем, что воздушные массы с этих направлений отличаются меньшей влажностью и более холодным характером, что подавляет развитие туманных явлений.

3.3 Влияние синоптических условий на туманы

Туманы – это сложное метеорологическое явление, зависящее от сочетания ряда факторов: температуры, влажности, направления и скорости ветра, а также общей синоптической ситуации. Ниже представлен анализ влияния основных синоптических условий на формирование туманов в регионе Кольского полуострова (Мурманск, Кольский залив) в холодный период года.

На основании синоптических карт за 2024 год, можно провести анализ влияния синоптических условий возникновения туманов за холодный и теплый сезон.

Туманы в районе Мурманска и Кольского залива в холодный период года в значительной степени зависят от синоптических условий. Наиболее благоприятные условия для их формирования создаются при поступлении влажосодержащего морского воздуха с юго – запада и юга, особенно при температуре воздуха ниже + 5 °С и относительной влажности выше 85 %.

Наибольшую опасность представляют адвективные туманы, связанные с движением тёплого и влажного воздуха над холодной поверхностью. Ледяной туман и изморозь наиболее вероятны при температурах ниже – 20 °С и высокой влажности (Рис. 5 – 14).

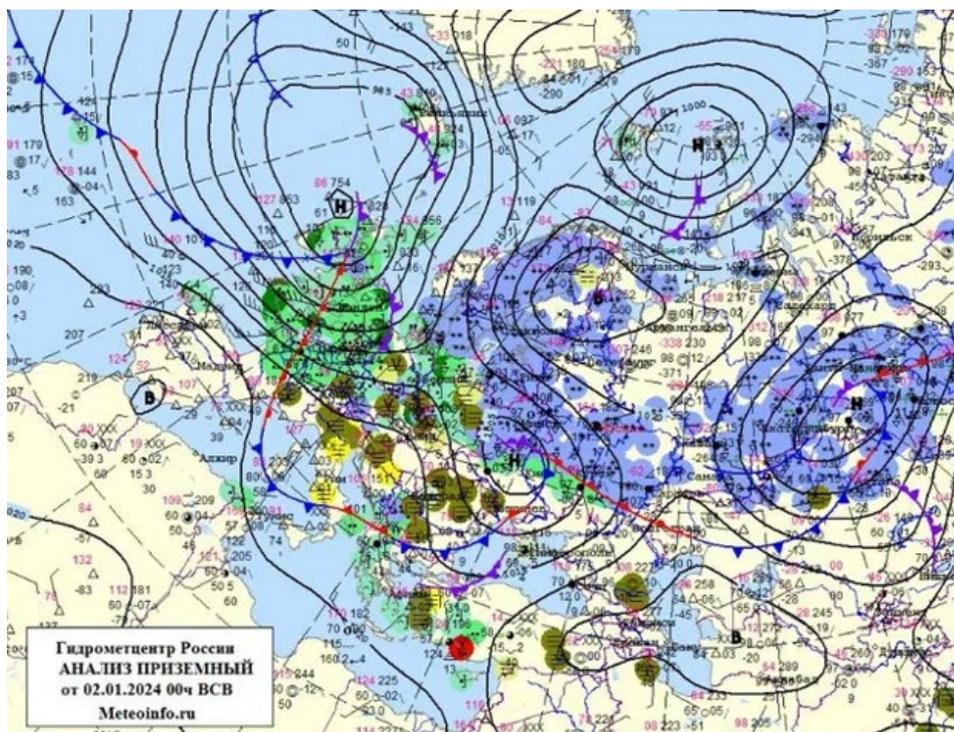


Рисунок 5 – Приземной анализ Кольского полуострова за 02.01.2024

На основе предоставленной синоптической карты от 02.01.2024 00:00, проведён единый комплексный анализ погодной ситуации на Кольском полуострове и в городе Мурманске. В районе Кольского полуострова температура воздуха находилась в диапазоне от $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Такие значения типичны для зимнего периода, что указывает на наличие устойчивого холодного сезона.

Преобладало северное (С или СЗ) направление ветра, характерное для антициклонической циркуляции.

Скорость ветра – умеренная, до $5 - 7\text{ м/с}$, что подтверждается длиной стрелок векторов ветра на карте.

В целом над Европейской частью России и Балтийским регионом доминировал антициклон с давлением около 1036 гПа , расположенный над Скандинавией.

На Кольском полуострове наблюдалось пониженное давление, связанное с влиянием активных циклонов с запада. Это создавало барический градиент, способствующий притоку воздушных масс с юго – запада, особенно в прибрежных районах.

Облачность была минимальной, что видно по распределению изолиний давления и отсутствию выраженных фронтальных зон. Осадков практически не наблюдалось, так как основные циклоны находились вне региона. Стабильная погода обусловлена антициклоническим влиянием, препятствующим развитию облачности и выпадению осадков.

В прибрежных районах, особенно вблизи Баренцева моря, влажность воздуха могла быть высокой. При таких условиях возможны были радиационные туманы, особенно ночью, вследствие интенсивного охлаждения поверхности суши. Однако, в силу низкой температуры и слабой испаряемости, туманы формировались редко и носили локальный характер.

В ближайшие часы ожидалось сохранение стабильной погоды под влиянием антициклона. Северный ветер должен был продолжить воздействовать на территорию, усиливая охлаждение. Вероятность осадков оставалась низкой, однако в прибрежных районах сохранялась возможность формирования ночных радиационных туманов.

На момент составления синоптической карты (02.01.2024 00:00), погода на Кольском полуострове и в Мурманске была стабильной, под влиянием антициклона. Температурный режим – резко континентальный, с температурами ниже – 15 °С. Ветер – северный или северо – западный, умеренной силы. Облачность и осадки – минимальные. Возможны были радиационные туманы в ночных и утренних часах. Сезон – зима, характеризующаяся устойчивыми морозами и преобладанием континентального холода.

На основе предоставленной синоптической карты от 06.02.2024 00:00, проведем анализ погодной ситуации на Кольском полуострове и в городе Мурманске.

На карте видно, что над Европейской частью России и Балтийским регионом доминирует антициклоническое влияние (высокое давление). В районе Кольского полуострова наблюдается низкое давление, связанное с активными циклонами. Антициклон над Скандинавией (давление около 1036 гПа) оказывает стабилизирующее влияние на погоду в данном регионе.

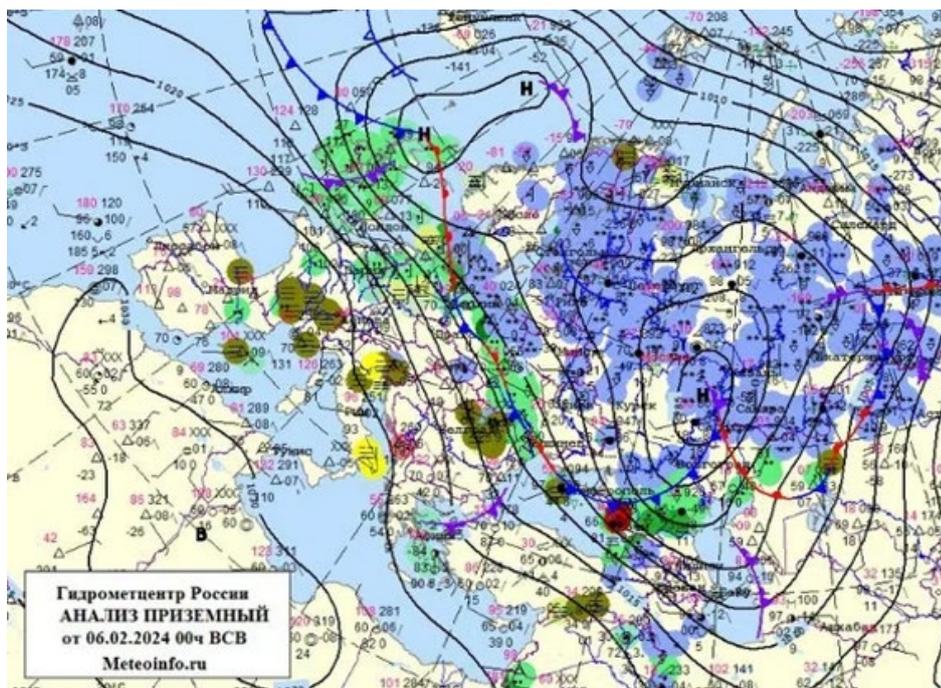


Рисунок 6 – Приземной анализ Кольского полуострова за 06.02.2024

Ветер дует преимущественно северным направлением (С или СЗ), как показывают стрелки векторов ветра. Скорость ветра умеренная (до 5 – 7 м/с), что можно определить по длине стрелок векторов ветра.

В районе Кольского полуострова температуры воздуха находятся в диапазоне от -15°C до -25°C . Такие низкие значения температуры указывают на холодный сезон.

Облачность минимальная, что видно по распределению изолиний давления и отсутствию значительных облачных систем. Осадки отсутствуют или минимальны, так как фронтальные разделы не проходят через этот регион.

Влажность воздуха может быть высокой, особенно в прибрежных зонах из-за влияния Баренцева моря. При таких условиях возможны радиационные

туманы, особенно ночью, когда происходит интенсивное охлаждение поверхности суши.

Синоптическая ситуация на Кольском полуострове и в городе Мурманске характеризуется стабильной погодой под влиянием антициклона, с низкими температурами (от -15°C до -25°C) и минимальной облачностью. Это явно относится к холодному сезону (зима).

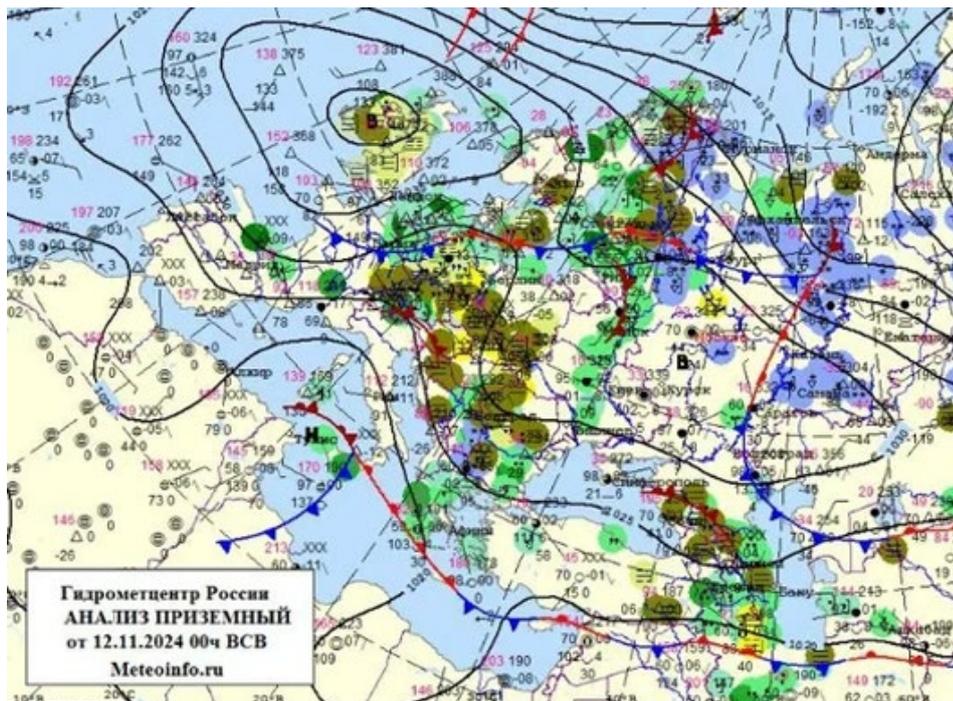


Рисунок 7 – Приземной анализ Кольского полуострова за 12.11.2024

На основе предоставленной синоптической карты от 12.11.2024 00:00, проведем анализ погодной ситуации на Кольском полуострове и в городе Мурманске.

На карте видно, что над Европейской частью России и Балтийским регионом доминирует антициклоническое влияние (высокое давление). В районе Кольского полуострова наблюдается низкое давление, связанное с активными циклонами. Антициклон над Скандинавией (давление около 1036 гПа) оказывает стабилизирующее влияние на погоду в данном регионе.

Ветер дует преимущественно северным направлением (С или СЗ), как показывают стрелки векторов ветра. Скорость ветра умеренная (до 5 – 7 м/с), что можно определить по длине стрелок векторов ветра.

В районе Кольского полуострова температуры воздуха находятся в диапазоне от – 15 °С до – 25 °С. Такие низкие значения температуры указывают на холодный сезон.

Облачность минимальная, что видно по распределению изолиний давления и отсутствию значительных облачных систем. Осадки отсутствуют или минимальны, так как фронтальные разделы не проходят через этот регион.

Влажность воздуха может быть высокой, особенно в прибрежных зонах из-за влияния Баренцева моря. При таких условиях возможны радиационные туманы, особенно ночью, когда происходит интенсивное охлаждение поверхности суши.

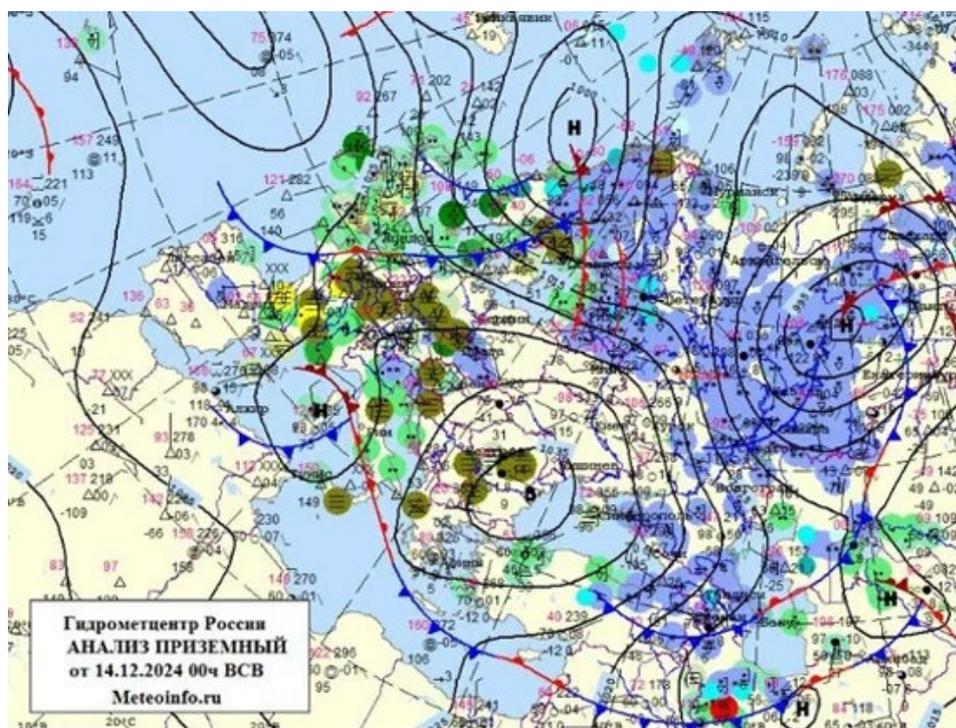


Рисунок 8 – Приземной анализ Кольского полуострова за 14.12.2024

На основе предоставленной синоптической карты от 14.12.2024 00:00, проведем анализ погодной ситуации на Кольском полуострове и в городе Мурманске.

На карте видно, что над Европейской частью России и Балтийским регионом доминирует антициклоническое влияние (высокое давление). В районе Кольского полуострова наблюдается низкое давление, связанное с активными циклонами. Антициклон над Скандинавией оказывает стабилизирующее влияние на погоду в данном регионе.

Ветер дует преимущественно северным направлением (С или СЗ), как показывают стрелки векторов ветра. Скорость ветра умеренная (до 5 – 7 м/с), что можно определить по длине стрелок векторов ветра.

Облачность минимальная, что видно по распределению изолиний давления и отсутствию значительных облачных систем. Осадки отсутствуют или минимальны, так как фронтальные разделы не проходят через этот регион.

Влажность воздуха может быть высокой, особенно в прибрежных зонах из-за влияния Баренцева моря. При таких условиях возможны радиационные туманы, особенно ночью, когда происходит интенсивное охлаждение поверхности суши.

Синоптическая ситуация на Кольском полуострове и в городе Мурманске характеризуется стабильной погодой под влиянием антициклона, с низкими температурами (от – 15 °С до – 25 °С) и минимальной облачностью. Это явно относится к холодному сезону (зима).

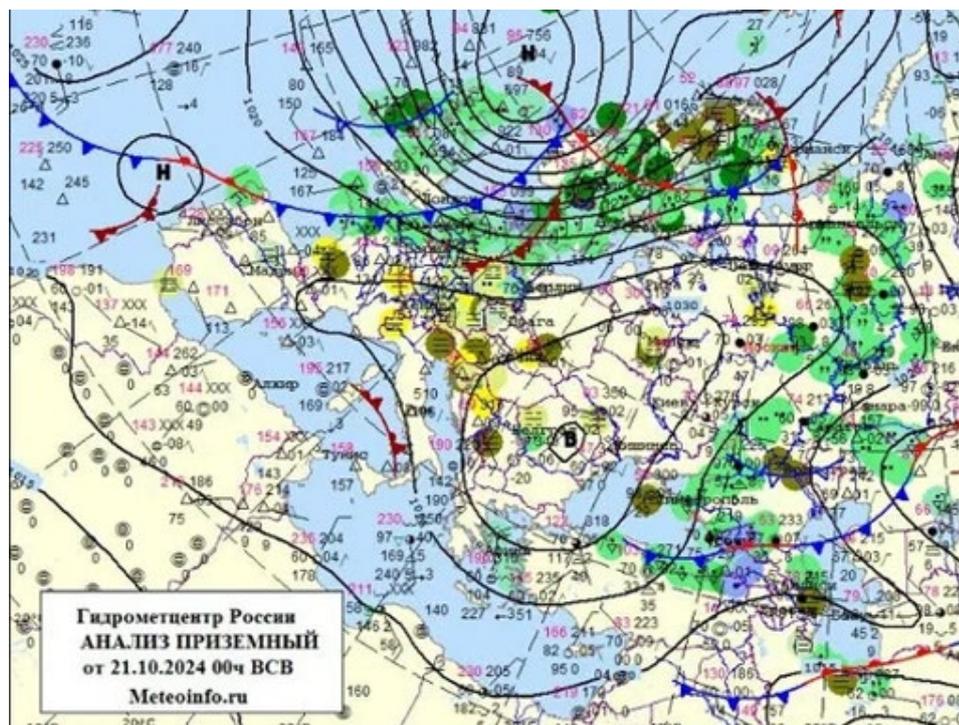


Рисунок 9 – Приземной анализ Кольского полуострова за 21.10.2024

На основе предоставленной синоптической карты от 21.10.2024 00:00, проведем анализ погодной ситуации на Кольском полуострове и в городе Мурманске.

В районе Кольского полуострова наблюдается низкое давление, связанное с активными циклонами. Антициклон над Скандинавией оказывает стабилизирующее влияние на погоду в данном регионе.

Ветер дует преимущественно северным направлением (С или СЗ), как показывают стрелки векторов ветра.

Влажность воздуха может быть высокой, особенно в прибрежных зонах из-за влияния Баренцева моря. При таких условиях возможны радиационные туманы, особенно ночью, когда происходит интенсивное охлаждение поверхности суши.

На самой синоптической карте нет явного указания на наличие туманов. Однако, исходя из условий: низкие температуры, высокая влажность в прибрежных зонах, стабильная погода без осадков, можно предположить,

что вероятность радиационных туманов ночью существует, особенно в прибрежных районах Кольского полуострова.

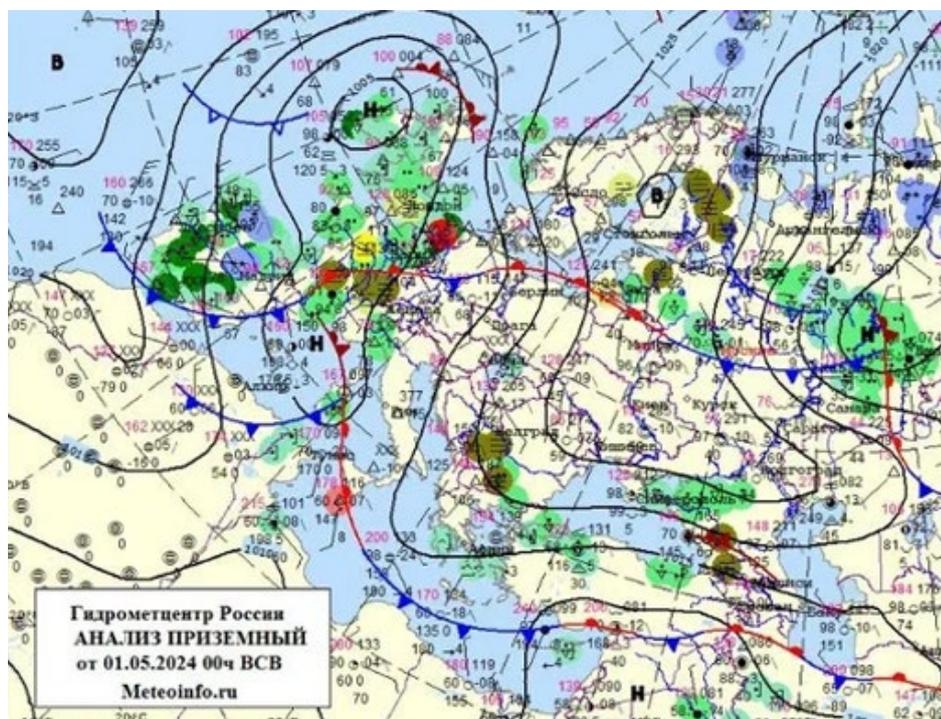


Рисунок 10 – Приземной анализ Кольского полуострова за 01.05.2024

На основе предоставленной синоптической карты от 01.05.2024 00:00, проведем анализ погодной ситуации на Кольском полуострове и в городе Мурманске.

На Кольском полуострове наблюдается область повышенного давления, центр которой находится примерно над Баренцевым морем (севернее Норвегии). Это антициклон. Вблизи Кольского полуострова давление составляет около 1028 – 1030 гПа, что указывает на стабильную погоду без активных осадков.

Температура воздуха над Кольским полуостровом находится в диапазоне от -2°C до $+2^{\circ}\text{C}$. Это относительно низкие значения для мая, что характерно для северных широт.

В прибрежных районах, особенно над Баренцевым морем, температура воздуха близка к точке замерзания воды (0°C), что может способствовать образованию тумана или дождя.

Ветер на Кольском полуострове направлен преимущественно с юго – запада (S – W) и имеет умеренную силу (около 6 – 10 м/с). Такой ветер принёсшийся с Баренцева моря, может быть влажным и способствовать конденсации водяного пара, особенно ночью.

На самой территории Кольского полуострова осадков нет. Однако в соседних регионах (например, над Финским заливом и Балтийским морем) наблюдаются области с осадками.

В Мурманске температура воздуха составляет $+1^{\circ}\text{C}$. Это значение ниже среднегодовых показателей для мая, но является типичным для этого времени года на севере Европейской части России.

В Мурманске осадков не ожидается. Однако влажный морской воздух может вызвать местные туманы или легкий дождь.

На основе данных анализа можно сделать вывод, что погода на Кольском полуострове и в Мурманске пока остаётся холодной для начала мая. Это связано как с высокой широтой региона, так и с влиянием холодного морского воздуха. Сезон можно классифицировать как переходный от зимы к весне, хотя погодные условия пока сохраняют черты ранней весны или даже поздней зимы.

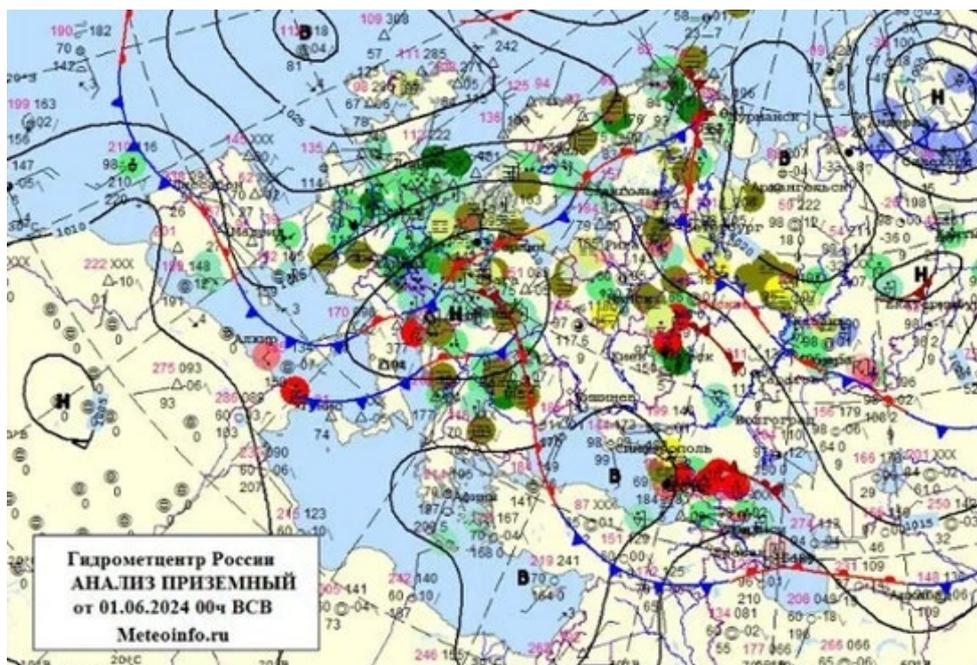


Рисунок 11 – Приземной анализ Кольского полуострова за 01.06.2024

На основе предоставленной синоптической карты от 01.06.2024 00:00, проведем анализ погодной ситуации на Кольском полуострове и в городе Мурманске.

На Кольском полуострове наблюдается область повышенного давления, центр которой находится примерно над Баренцевым морем (севернее Норвегии). Это антициклон. Вблизи Кольского полуострова давление составляет около 1028 – 1030 гПа, что указывает на стабильную погоду без активных осадков.

Температура воздуха над Кольским полуостровом находится в диапазоне от +2°C до +5°C. Это относительно низкие значения для июня, что характерно для северных широт. В прибрежных районах, особенно над Баренцевым морем, температура воздуха близка к точке замерзания воды (0°C), что может способствовать образованию тумана или дождя.

Ветер на Кольском полуострове направлен преимущественно с юго – запада (S – W) и имеет умеренную силу (около 6 – 10 м/с). Такой ветер принёсшийся с Баренцева моря, может быть влажным и способствовать конденсации водяного пара, особенно ночью.

На основе данных анализа можно сделать вывод, что погода на Кольском полуострове и в Мурманске пока остаётся холодной для начала июня. Это связано как с высокой широтой региона, так и с влиянием холодного морского воздуха. Сезон можно классифицировать как переходный от зимы к весне, хотя погодные условия пока сохраняют черты ранней весны или даже поздней зимы.

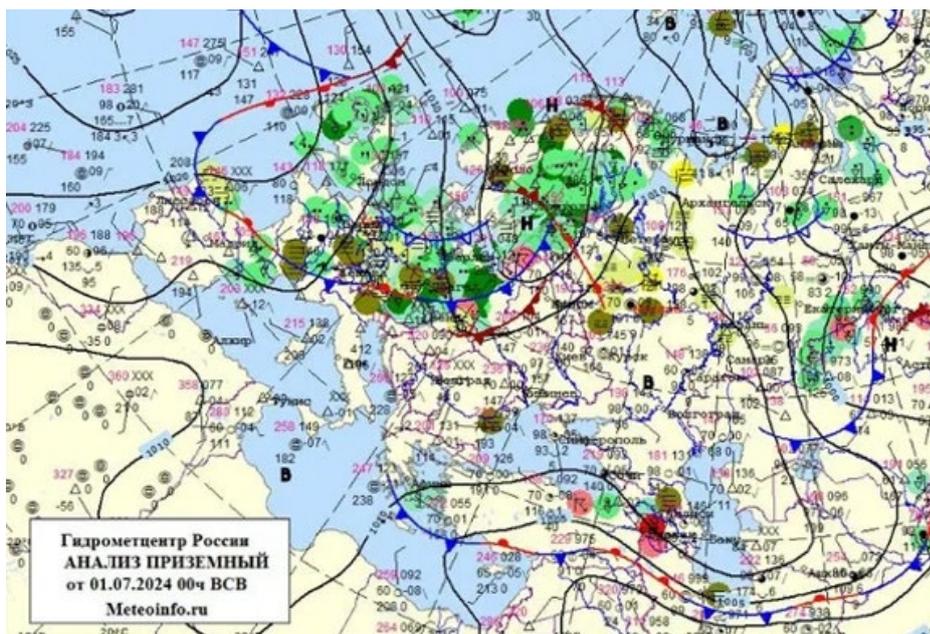


Рисунок 12 – Приземной анализ Кольского полуострова за 01.07.2024

На основе предоставленной синоптической карты от 01.07.2024 00:00, проведем анализ погодной ситуации на Кольском полуострове и в городе Мурманске.

На Кольском полуострове наблюдается область повышенного давления, центр которой находится примерно над Баренцевым морем (севернее Норвегии). Вблизи Кольского полуострова давление составляет около 1028 – 1030 гПа, что указывает на стабильную погоду без активных осадков.

Температура воздуха над Кольским полуостровом находится в диапазоне от + 5°C до + 8°C. Это относительно низкие значения для июля, что ха-

рактенно для северных широт. В прибрежных районах, особенно над Баренцевым морем, температура воздуха близка к точке замерзания воды (0°C), что может способствовать образованию тумана или дождя.

Ветер на Кольском полуострове направлен преимущественно с юго – запада (S – W) и имеет умеренную силу (около 6 – 10 м/с).

Такой ветер принёсшийся с Баренцево моря, может быть влажным и способствовать конденсации водяного пара, особенно ночью.

На самой территории Кольского полуострова осадков нет. Однако в соседних регионах (например, над Финским заливом и Балтийским морем) наблюдаются области с осадками.

В Мурманске температура воздуха составляет $+ 6^{\circ}\text{C}$. Это значение ниже среднегодовых показателей для июля, но является типичным для этого времени года на севере Европейской части России.

На основе данных анализа можно сделать вывод, что погода на Кольском полуострове и в Мурманске пока остаётся холодной для начала июля. Это связано как с высокой широтой региона, так и с влиянием холодного морского воздуха.



Рисунок 13 – Приземной анализ Кольского полуострова за 01.08.2024

На основе предоставленной синоптической карты от 01.08.2024 00:00, проведем анализ погодной ситуации на Кольском полуострове и в городе Мурманске.

На Кольском полуострове наблюдается область повышенного давления, центр которой находится примерно над Баренцевым морем (севернее Норвегии). Это антициклон. Вблизи Кольского полуострова давление составляет около 1028 – 1030 гПа, что указывает на стабильную погоду без активных осадков.

Температура воздуха над Кольским полуостровом находится в диапазоне от + 7°C до + 10°C. Это относительно низкие значения для августа, что характерно для северных широт. В прибрежных районах, особенно над Баренцевым морем, температура воздуха близка к точке замерзания воды (0°C), что может способствовать образованию тумана или дождя.

Ветер на Кольском полуострове направлен преимущественно с юго – запада (S – W) и имеет умеренную силу (около 6 – 10 м/с). Такой ветер принёсшийся с Баренцево моря, может быть влажным и способствовать конденсации водяного пара, особенно ночью.

На самой территории Кольского полуострова осадков нет. Однако в соседних регионах (например, над Финским заливом и Балтийским морем) наблюдаются области с осадками.

В Мурманске температура воздуха составляет + 8°C. Это значение ниже среднегодовых показателей для августа, но является типичным для этого времени года на севере Европейской части России.

На основе данных анализа можно сделать вывод, что погода на Кольском полуострове и в Мурманске пока остаётся холодной для начала августа. Это связано как с высокой широтой региона, так и с влиянием холодного морского воздуха.

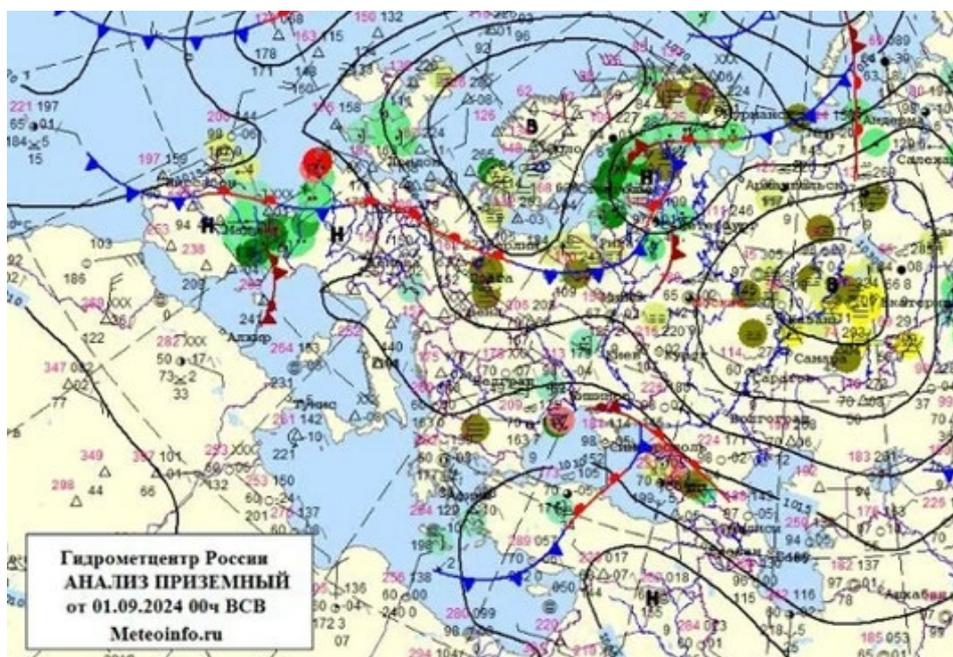


Рисунок 14 – Приземной анализ Кольского полуострова за 01.09.2024

На основе предоставленной синоптической карты от 01.09.2024 00:00, проведем анализ погодной ситуации на Кольском полуострове и в городе Мурманске.

На Кольском полуострове наблюдается область повышенного давления, центр которой находится примерно над Баренцевым морем (севернее Норвегии). Это антициклон. Вблизи Кольского полуострова давление составляет

около 1028 – 1030 гПа, что указывает на стабильную погоду без активных осадков.

Температура воздуха над Кольским полуостровом находится в диапазоне от + 6°C до + 9°C. Это относительно низкие значения для сентября, что характерно для северных широт. В прибрежных районах, особенно над Баренцевым морем, температура воздуха близка к точке замерзания воды (0°C), что может способствовать образованию тумана или дождя.

Ветер на Кольском полуострове направлен преимущественно с юго – запада (S – W) и имеет умеренную силу (около 6 – 10 м/с). Такой ветер принёсшийся с Баренцево моря, может быть влажным и способствовать конденсации водяного пара, особенно ночью.

В Мурманске температура воздуха составляет + 7°C. Это значение ниже среднегодовых показателей для сентября, но является типичным для этого времени года на севере Европейской части России.

На основе данных анализа можно сделать вывод, что погода на Кольском полуострове и в Мурманске пока остаётся холодной для начала сентября. Это связано как с высокой широтой региона, так и с влиянием холодного морского воздуха.

На основе анализа синоптических карт за первые девять месяцев 2024 года (с 01.01 по 01.09) можно сделать следующие выводы о погоде, климатических особенностях и сезонных изменениях на территории Кольского полуострова и города Мурманска.

Во все проанализированные периоды температура воздуха оставалась ниже среднееголетних значений для соответствующих месяцев, особенно заметно это было весной и летом.

Даже в июле и августе, обычно самых тёплых месяцах в году, температура не превышала + 10°C, что характерно скорее для ранней весны, чем для высокого лета.

Средняя температура на дату 01 – го числа каждого месяца:

– Январь: от – 15°C до – 18°C;

- Май: + 1°C – + 2°C;
- Июнь–август: + 3°C – + 8°C;
- Сентябрь: + 6°C – + 7°C.

Таким образом, температура воздуха в течение всего периода была ниже нормы, особенно в весенние и летние месяцы.

Атмосферное давление и циркуляция воздушных масс. Преобладала область повышенного давления над Баренцевым морем, то есть влияние антициклона. Это способствовало стабильной, малооблачной погоде без активных осадков. Ветер преимущественно юго – западный, умеренной силы (6 – 10 м/с), приносил влажный морской воздух с Баренцева моря. Такое сочетание факторов часто вызывало местные туманы, особенно ночью и утром.

Осадков на территории Кольского полуострова и в Мурманске практически не наблюдалось. Однако в близлежащих регионах (Балтийское и Белое моря) отмечались зоны с обильными осадками. Из – за стабильного антициклона и слабой активности атмосферных фронтов погода оставалась сухой и ясной, с редкими исключениями.

Ночью и ранним утром в прибрежных районах, особенно вблизи морей, часто наблюдались туманы.

Это связано с:

- низкой температурой воздуха;
- высокой влажностью (морской воздух);
- слабым ветром в приземном слое.

Весь период с января по сентябрь 2024 года отличался пониженной температурой, стабильным антициклоническим режимом, отсутствием осадков и высокой вероятностью туманов. Сезонность была выражена слабо – преобладали холодные или переходные условия, даже в летние месяцы.

В течение первых девяти месяцев 2024 года на Кольском полуострове и в городе Мурманск наблюдалась нехарактерно холодная погода. Температурный режим был понижен относительно климатической нормы, особенно

весной и летом. Синоптическая ситуация определялась долгоживущим антициклоном, обеспечивавшим сухую и стабильную погоду. При этом влажный морской воздух с Баренцева моря способствовал образованию локальных туманов, особенно в прибрежных районах.

Сезонность была выражена слабо – большинство месяцев имели холодный или переходный характер, что может указывать на краткосрочные климатические аномалии или влияние крупномасштабных атмосферных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были проанализированы режимы туманов на территории города Мурманска и Кольского полуострова с учётом пространственно – временных характеристик, метеорологических условий и климатических особенностей региона.

Анализ данных показал, что туман является частым и устойчивым атмосферным явлением, особенно в прибрежных районах, где наблюдается взаимодействие холодного континентального и тёплого морского воздуха. Наиболее распространёнными типами туманов являются:

– адвективные туманы – возникают при перемещении тёплого влажного воздуха над холодной подстилающей поверхностью (характерны для побережья);

– радиационные туманы – формируются в результате ночного охлаждения земной поверхности при слабом ветре и ясном небе (чаще наблюдаются во внутренних районах полуострова).

Исследование позволило выявить следующие закономерности:

- 1) Сезонная изменчивость: наибольшая частота туманов отмечена осенью и весной, когда разница температур между сушей и морем наиболее значительна.
- 2) Зависимость от погодных условий: туманы чаще всего развиваются при умеренном ветре (2 – 6 м/с), высокой относительной влажности (80 – 100 %) и температуре воздуха, близкой к точке росы.
- 3) Географическая локализация: максимальное количество туманов наблюдается в прибрежных зонах, особенно вблизи Баренцева моря и Кольского залива, где влияние морского воздуха наиболее выражено.

Проведённый анализ синоптических карт за период с января по сентябрь 2024 года показал, что в этот год наблюдалась нехарактерно холодная погода, особенно в весенние и летние месяцы. Это повлияло на увеличение числа случаев образования туманов даже в летнее время, что обычно не свойственно данному сезону.

Таким образом, туманы оказывают существенное влияние на условия жизни населения, функционирование транспортной системы, авиационную и морскую безопасность. Полученные результаты могут быть использованы:

- в практической деятельности служб метеорологии и гидрометеорологического обеспечения;
- при планировании транспортных перевозок и организации морских операций;
- в целях повышения безопасности жизнедеятельности в условиях ограниченной видимости.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на создание прогнозных моделей возникновения туманов с использованием современных метеорологических технологий и спутниковых данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабушкин В.Д., Лазарев В.И. Основы климатологии. – М.: Академия, 2007 – 320 с.
2. Временное методическое руководство по краткосрочному прогнозированию туманов / Гидрометцентр России. – Л., 1985 – 48 с.
3. ГОСТ 30756 – 2001. Термины и определения понятий в области метеорологии // М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
4. Зверев А.С. Метеорология и климатология. – М.: АСВ, 2009 – 432 с.
5. Ильина Т. Д., Шошина Г. И., Коноплева К. В. Научно – прикладной справочник по климату СССР. Выпуск 2. 1975 – 280 с.
6. Калюжный В.А. Климат Мурманской области. – Мурманск: МГТУ, 2005. – 180 с.
7. Кондратьев К.Я. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 536 с.
8. Ларионова Е.А. Роль туманов в формировании погодных условий побережья Кольского залива // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия "Естественные науки". – 2021. – № 2. – С. 78 – 85.
9. Никандров В. Я. Искусственные воздействия на облака и туманы (микрофизические основы), 1959 – 190 с.
10. Официальная статья. Образование и трансформация туманов. Официальный сайт – <https://studfile.net/preview/7072368/page:2/>
11. Официальный сайт – источник метеорологической информации. RP5.RU – <https://rp5.ru/docs/about/ru>
12. Матишов Г. Г. Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты, 1997 – 265 с.
13. Смирнова Н. С. Научно – прикладной справочник по климату СССР / Под ред. – Л: Гидрометиздат, 1988.
14. Яковлев Б. А. Климат Мурманска. Гидрометеиздат Ленинград, 1972 – 108 с.