



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

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Туманы в Арктике»

Исполнитель Малькова Екатерина Витальевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)
Лаврова Ирина Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой


(подпись)

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

Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

« 8 » июня 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. Основные понятия и методы прогнозирования туманов.....	5
1.1 Условия образования и классификация туманов.....	5
1.2. Методы прогноза различных видов туманов.....	7
1.2.1. Адвективные туманы.....	7
1.2.2. Туманы испарения.....	11
2. Физико-географические и климатические особенности Баренцева моря...	14
2.1. Физико-географическое описание района Баренцева моря.....	14
2.2. Общие сведения о климате Баренцева моря.....	15
3. Условия образования туманов над Баренцевым морем.....	17
3.1. Описание исходных данных.....	17
3.2. Пространственно-временной режим туманов.....	19
3.3 Анализ метеорологических условий, влияющих на образование тумана.	21
4. Анализ синоптических ситуаций при возникновении туманов над Баренцевым морем.....	31
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	37
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	39

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность данной выпускной квалификационной работы обусловлена необходимостью изучения территорий и климата арктического региона и заполярья. Связано это с тем, что северные регионы играют существенную роль в процессах, воздействующих на окружающую среду, поскольку являются индикаторами природных изменений в масштабах планеты, в частности изменения климата. Эти территории мало изучены, но несут в себе достаточно много ценных ресурсов, что не может не привлекать. Очевидно, что для того, чтобы использовать различные ресурсы, нужно владеть приличным объемом знаний об этих местах. Также глобальная тенденция изменения климата и наиболее сильная восприимчивость к изменению различных параметров в Арктике, приводит нас к тому, что изучение климата и погоды в этом регионе очень важно.

Предметом исследования являются условия и особенности образования туманов над Баренцевым морем.

Целью работы является изучение и анализ условий образования туманов над Баренцевым морем.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать распределение туманов по сезонам по акватории Баренцева моря;
2. Рассмотреть распределение случаев с туманами при различной видимости, скорости и направлениям ветра, разности температур вода-воздух, от температуры и влажности воздуха.
3. Выявить часто повторяющиеся типы туманов над Баренцевым морем.

4. Проанализировать синоптические ситуации, при которых появляются туманы.

Данная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованных источников. Во введении отражена актуальность, определены цели и задачи исследования. Первая глава посвящена основным понятиям, условиям образования и прогнозу различных видов тумана. Во второй главе будут рассмотрены климатические особенности и физико-географическое положение Баренцева моря. Третья глава выпускной квалификационной работы посвящена анализу особенностей и закономерностей образования туманов над Баренцевым морем. В заключении приведены итоги исследования и анализа всех рассмотренных условий образования туманов. С целью выявления характерных закономерностей в работе проведен расчет повторяемости туманов при различных метеорологических условиях в различные сезоны, проанализированы результаты и дана оценка. Помимо этого, будут рассмотрены различные синоптические ситуации, при которых наблюдался туман.

Для анализа в работе был использован массив данных Национального Климатического Центра Данных (NCDC) США с 1950 по 2021 гг.

1. Основные понятия и методы прогнозирования туманов.

1.1 Условия образования и классификация туманов.

Туман – это помутнение воздуха в приземном слое, вызванное взвешенными в нем каплями воды, ледяными кристаллами или их смесью, при горизонтальной видимости меньше одного километра хотя бы в одном направлении.

Разделяют два типа туманов в зависимости от синоптических условий их образования: внутримассовые и фронтальные. Также в зависимости от вертикальной протяженности туманы классифицируют на поземные (с верхней границей до 2 м), низкие (с верхней границей от 2 до 10 м), средние (с верхней границей от 10 до 100 м) и высокие (с верхней границей, превышающей 100 м). По степени ухудшения горизонтальной видимости туманы принято делить на слабые (видимость 500—1000 м), умеренные (видимость 200—500 м), сильные (видимость 50—100 м) и очень сильные (видимость менее 50 м). В большей степени значение имеет их генетическая классификация (Рисунок 1.1).

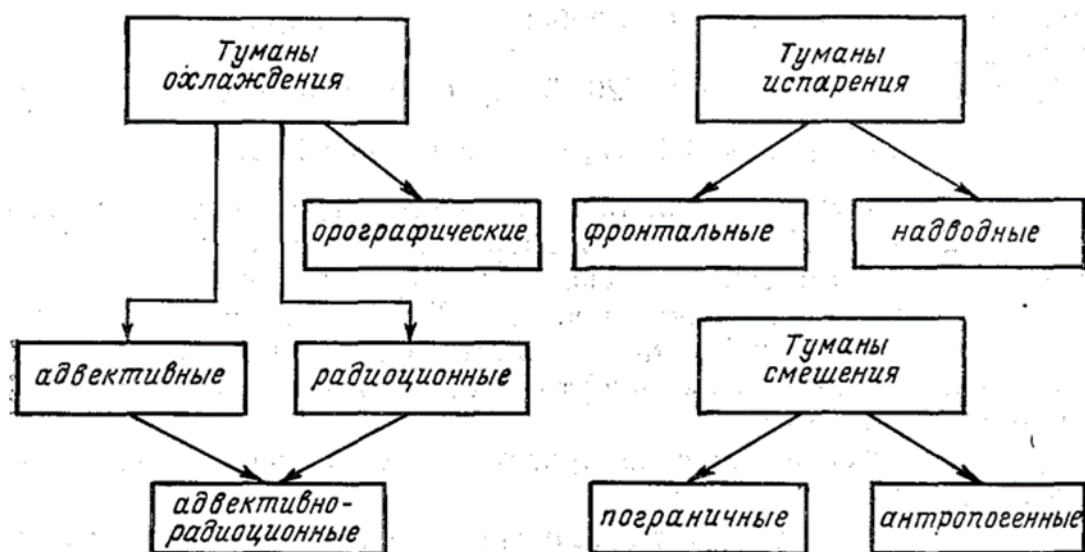


Рисунок 1.1 – Генетическая классификация туманов.

За счет приближения влажности воздуха к состоянию насыщения при понижении температуры воздуха возникают туманы охлаждения. При этом охлаждение воздуха в приземном слое может происходить в результате нескольких причин:

- при перемещении влажного воздуха на относительно холодную подстилающую поверхность;

- при понижении температуры подстилающей поверхности за счет ее радиационного охлаждения;

- при адиабатическом расширении воздуха.

Туманы, возникающие по первой причине, называются адвективными, а по второй — радиационными. В тех случаях, когда понижение температуры воздуха при его перемещении на относительно холодную подстилающую поверхность со временем усиливается его охлаждением от радиационно выхолаживающейся подстилающей поверхности, могут возникать туманы, которые принято называть адвективно-радиационными.

Понижение температуры воздуха при его адиабатическом расширении может происходить одновременно с образованием тумана практически только при натекании воздуха на склоны возвышенностей, обеспечивающим значительное перемещение воздуха по вертикали и как следствие ощутимое его охлаждение. Поэтому возникающие при этом туманы называют орографическими. Охлаждение воздуха при его адиабатическом расширении без подъема в вертикальном направлении, т. е. при значительном падении давления у поверхности Земли, что может наблюдаться, например, при резком углублении ложбины, как правило, только способствует образованию тумана при наличии более существенных причин для его возникновения. Туманы испарения возникают только тогда, когда температурам испаряющей поверхности выше температуры приземного слоя воздуха. Поэтому они образуются или над водной поверхностью — надводные туманы, или при испарении капель дождя, выпадающего из теплой надфронтальной

воздушной массы, в холодном подфронтальном воздухе — фронтальные туманы.

Возможность образования туманов происходит при смешении двух воздушных масс с разной температурой и влажностью. Эти туманы называют туманами смешения. Они возникают вблизи границ раздела между теплыми и холодными морскими течениями, вблизи морских побережий. Такие туманы можно назвать пограничными. Вместе с тем, туманы могут образовываться при поступлении водяного пара в атмосферу в результате хозяйственной деятельности человека. Водяной пар в этом случае играет роль второй теплой и влажной воздушной массы в процессе смешения. Как итог такие туманы называются антропогенными.

1.2. Методы прогноза различных видов туманов.

Прогноз тумана ограничивается прогнозом двух температур: температуры туманообразования, минимальной температуры воздуха и их сравнению. В тех случаях, когда температура туманообразования оказывается выше минимальной температуры, в прогнозах погоды нужно указывать туман.

Тем не менее, при прогнозе разных видов туманов иногда приходится учитывать большее количество факторов, чем только температура туманообразования и минимальная температура воздуха. Рассмотрим несколько основных методов прогноза туманов.

1.2.1. Адвективные туманы.

Адвективные туманы образуются в теплой воздушной массе, которая перемещается на более холодную подстилающую поверхность, в результате неадиабатического охлаждения воздуха при взаимодействии с ней. Стоит

подчеркнуть, что для возникновения данного вида тумана необходимо, чтобы турбулентное перемешивание, зависящее от скорости ветра и стратификации воздуха, условно, «не успевало» переносить образующиеся в приземном слое воздуха продукты конденсации вверх. В противном случае образуется низкая облачность, а не туман.

Эти туманы могут наблюдаться в любое время суток. Адвективные туманы возникают чаще зимой и в переходные сезоны года при ощутимом потеплении. Общими условиями возникновения таких туманов являются:

- Дефицит температуры точки росы у земли должен быть небольшим (при $D_0 > 3$ °C туманы, как правило, не возникают);
- Скорость ветра у земли должна быть меньше 8 м/с (при большей скорости ветра происходит разрушение приземной инверсии и, как правило, разрушение тумана).

Метод Н.В. Петренко.

Для прогноза адвективного тумана Н.В. Петренко предложил график (Рисунок 1.2), который учитывает горизонтальный градиент температуры, дефицит точки росы в начале траектории и прогностическое значение скорости ветра у земли. Если обе точки на графиках, построенные по исходным данным, попадут в область тумана, то в прогнозе следует указывать туман. Метод можно успешно использовать на практике при заблаговременности прогноза до 9 часов.



Рисунок 1. 2 - Комплексный график для прогноза тумана по Н. В. Петренко

Этот график представляет из себя комплекс двух диаграмм. По верхней части туман прогнозируется по предикторам $\Delta T/\Delta S$ И Δ' . Если точка попадает в область St, то туман в формулировке прогноза не указывается. В том случае, когда точка попадает в область тумана, то это заключение уточняется по нижнему графику с привлечением в качестве предиктора ожидаемой в пункте прогноза скорости ветра.

Метод И.В. Кошеленко.

И. В. Кошеленко для прогноза адвективного тумана предложил график (Рисунок1.3).

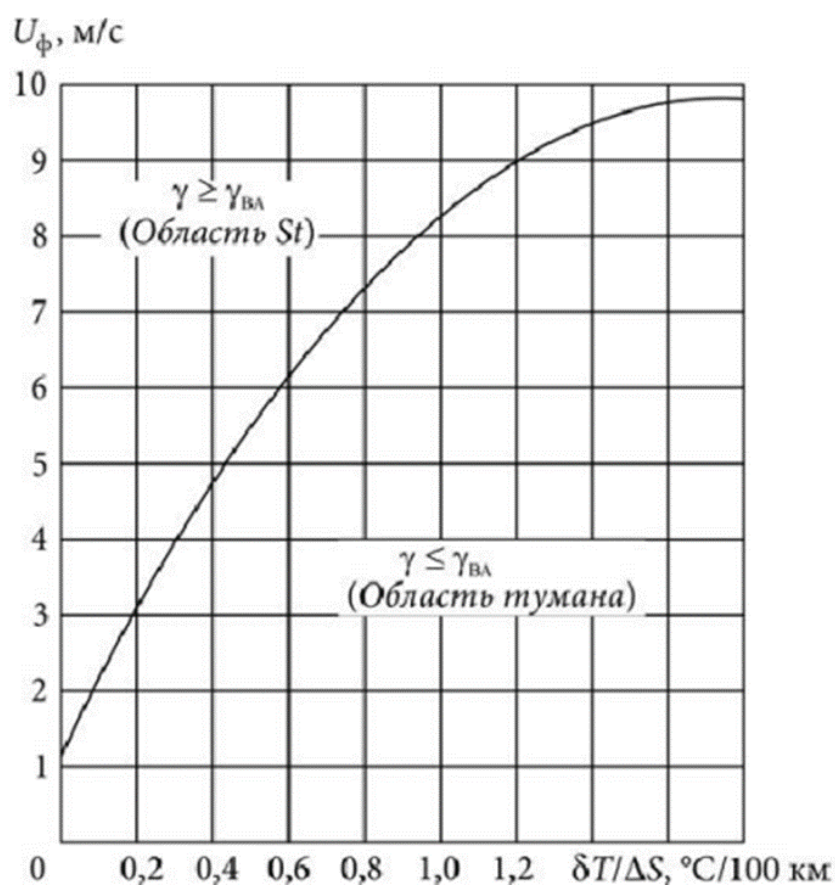


Рисунок 1.3 – График для прогноза адвективного тумана по И. В. Кошеленко

График позволяет прогнозировать возникновение и перемещение адвективного тумана в пункт, для которого разрабатывается прогноз с заблаговременностью 8—10 ч тогда, когда в исходный момент наблюдалась низкая слоистая облачность. По вертикальной оси на графике откладывается прогностическое значение скорости ветра на высоте флюгера, а по горизонтальной оси – горизонтальный градиент температуры, который определяется по картам погоды. Расстояние, а, следовательно, и температуру воздуха с карт погоды необходимо определять в направлении, откуда переместится воздух в пункт прогноза. Если точка, соответствующая исходным данным, окажется ниже кривой на графике, то в прогнозе погоды следует указывать туман, а если выше – туман не прогнозируется или не будет перенесен из района, где он был в исходный момент времени.

Метод А.А. Шадринной.

А.А. Шадринна предложила график (Рисунок 1.4), который позволяет определить возможность возникновения тумана по адвективным изменениям температуры точки росы у земли или на уровне 850 гПа. Если точка пересечения температур T и T_d у земной поверхности окажется ниже сплошной линии или ниже пунктирной линии для данных на уровне 850 гПа, то в прогнозе следует указывать туман. Этот метод дает хорошие результаты при сроке прогноза до 9 часов.



Рисунок 1.4 – График для прогноза тумана по методу А. А. Шадринной

1.2.2. Туманы испарения.

Для прогноза туманов испарения можно воспользоваться графиком (Рисунок 1.5). На данном графике по горизонтальной оси откладывается температура воздуха, движущегося с суши на море, а по вертикальной оси – относительная влажность этого воздуха. График делится на три части: если точка, соответствующая параметрам воздушной массы, попадает в область 1,

то тумана ожидать не следует, а если в области 2 или 3, то следует ожидать умеренный или густой туман соответственно.

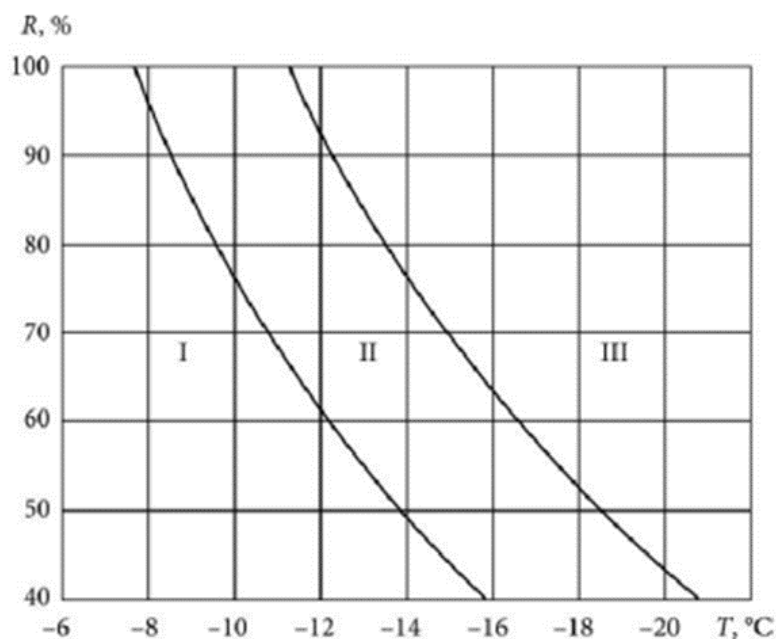


Рисунок 1.5 – График для прогноза туманов испарения

В «Руководстве по краткосрочным прогнозам погоды» приведена таблица, данные которой позволяют давать альтернативный прогноз речного тумана испарения по значениям разности температур вода — воздух и относительной влажности на наветренном берегу с учетом ширины реки.

Если рассматривать фронтальные туманы, то в большинстве случаев они образуются перед медленно смещающимися теплыми фронтами или за малоподвижными холодными фронтами в холодные сезоны. Основная причина образования этих туманов — испарение капель дождя или мороси, которое будет тем сильнее, чем больше разность температур на верхней границе фронтальной инверсии и у земной поверхности.

При синоптическом методе прогноза фронтальных туманов важно помнить, что необходимо выполнение одновременно всех условий:

- температура на верхней границе фронтальной инверсии должна быть больше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- разность температур на верхней границе инверсии и у земли должна быть больше или равна $3\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- дефицит температуры точки росы в холодном воздухе у земли вне зоны осадков не должен превышать $2\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- скорость ветра у земли в холодном воздухе не должна быть больше 6 м/с .

Для прогноза таких туманов все также можно использовать график (Рисунок 1.6)

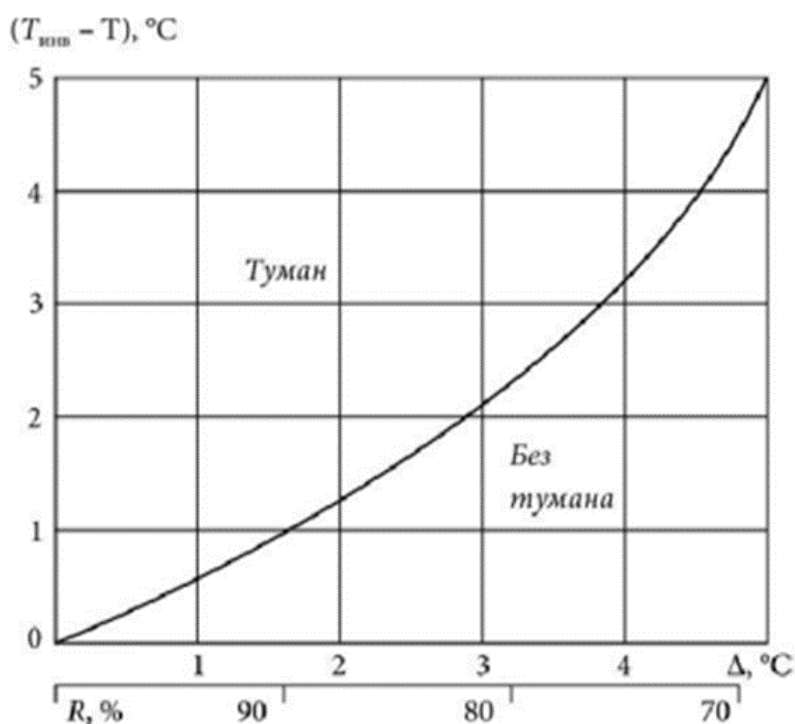


Рисунок 1.6 – График для прогноза фронтального тумана

По горизонтальной оси графика откладывается или относительная влажность R в пункте прогноза, или дефицит температуры точки росы ($T - T_d$), а по вертикальной оси – разность температур ($T_{\text{инв}} - T$). В тех случаях,

когда точка, соответствующая исходным данным, попадает в область тумана, в прогнозе следует указывать туман.

2. Физико-географические и климатические особенности Баренцева моря.

2.1. Физико-географическое описание района Баренцева моря.

Баренцево море – самое большое по площади море в бассейне Северного Ледовитого океана, находящееся на его окраине. Оно омывает норвежские и российские берега и считается важнейшей транспортной магистралью нескольких европейских и скандинавских стран.

В Баренцевом море много островов. В их числе крупнейшие полярные архипелаги - Шпицберген и Земля Франца-Иосифа, а также острова Новая Земля, Колгуев, Медвежий и другие.

Одной из географических особенностей моря является большое количество островов и то как они расположены. Многочисленные фьорды, заливы, мысы и бухты образуют его сложную расчлененную береговую линию.

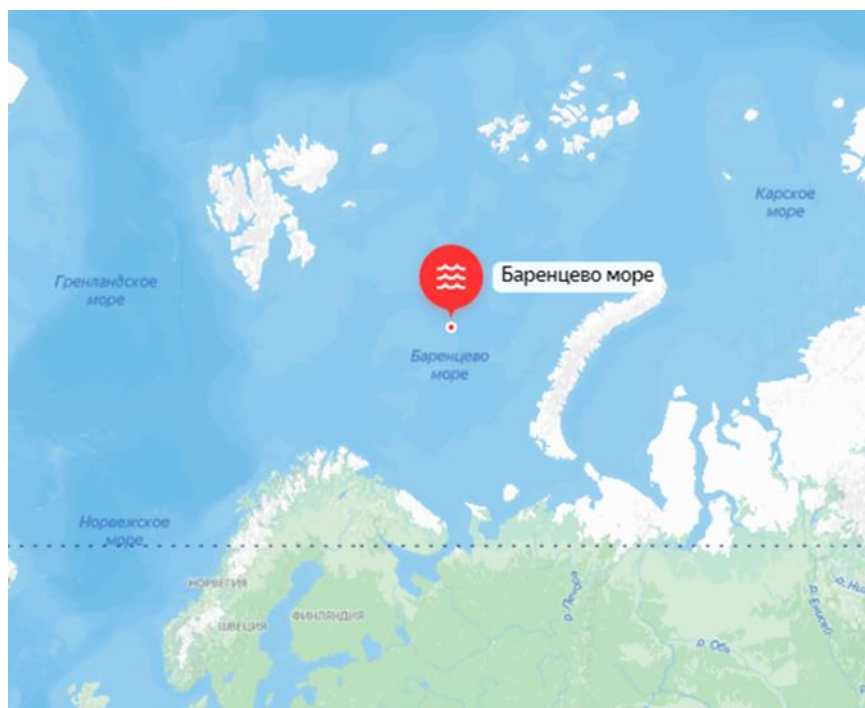


Рисунок 2.1 – Расположение Баренцева моря на карте

Основные черты климата моря определяются положением Баренцева моря в высоких широтах за полярным кругом, а также непосредственной связью с Атлантическим океаном и Центральным арктическим бассейном.

2.2. Общие сведения о климате Баренцева моря.

Теплое течение Северной Атлантики и холодные массы Северного Ледовитого океана являются двумя противоположно действующими факторами климатических особенностей Баренцева моря. В целом климат характеризуется как полярный, с достаточно длительным зимним периодом и коротким летом, с минимальным количеством тепла. Сезонные колебания температуры воздуха и морской воды небольшие, в течение всего года сохраняется высокая влажность.

Под влиянием арктических воздушных масс находится северная часть акватории, в то время как южная испытывает на себе влияние умеренной климатической зоны. Оба эти потока, сталкиваясь, формируют арктический

атмосферный фронт, который протягивается от Исландии до северного конца архипелага Новой Земли, проходя через остров Медвежий. На изменение погоды в регионе оказывают влияние постоянно зарождающиеся циклоны и антициклоны в зоне этого атмосферного фронта.

В зимний период активность арктического фронта усиливается. В это время над акваторией преобладают юго-западные ветры, а в юго-восточных прибрежных районах часто наблюдаются ветры с суши, а именно южного и юго-восточного направления. Скорость воздушных потоков не особенно большая и находится в пределах от 4-7 м/с до 12-16 м/с. В марте около Шпицбергена наблюдается температурный минимум, в этот момент среднемесячная температура опускается до -22°C . В западной части температуры гораздо выше: благодаря тёплому Северо-Атлантическому течению она составляет -2°C . Возле юго-восточного побережья сохраняется достаточно холодная температура в пределах -16°C .

Летом направление ветров изменяется: на всей акватории преобладают ветра юго-западных направлений, которые приносят тёплый воздух. Среднемесячная температура в июле и августе составляет $8-9^{\circ}\text{C}$ для центральной и западной частей моря и приблизительно 7°C в юго-восточной части.

Крайне неустойчивая погода наблюдается осенью и весной, ветра постоянно меняют свое направление, часто выпадают «заряды» осадков. Весной потепление происходит быстро, осенью температура понижается постепенно.

По большей части погода на берегах Баренцева моря зависит от ветров. Тёплые атлантические циклоны, сталкиваясь с холодным арктическим воздухом с Северного Ледовитого океана, становятся причиной переменчивой погоды и нередко провоцируют штормы. В течение года

преобладает пасмурная погода. Средняя температура зимой составляет от -4 до -25 градусов, а летом может достигать от 0 до +12 градусов.

Высокая степень покрытия Баренцева моря льдами объясняется достаточно суровым северным климатом. На северных водах льды сохраняются круглый год, а в особенно холодные годы плавучие льды подходят к Кольскому полуострову. Пик распространения льдов отмечается в апреле, а наименьшее количество льдов наблюдается в августе, когда температура воздуха выше. В то время как на юге под влиянием тёплого течения Гольфстрим море никогда не замерзает.

3. Условия образования туманов над Баренцевым морем.

3.1. Описание исходных данных.

В ходе работы был использован массив Национального Климатического Центра Данных (NCDC) США, который из себя представляет архив фактических данных наблюдений с буёв, морских платформ и судов с 1662 года по настоящее время, представленный по 10-градусными квадратами по всей акватории Мирового океана. Из-за того, что сайт NOAA.gov прекратил свою работу, а также связанные с ним сайты, архив доступен в ограниченном объеме, т.е. наблюдения по некоторым приборам исключены из массива [6].

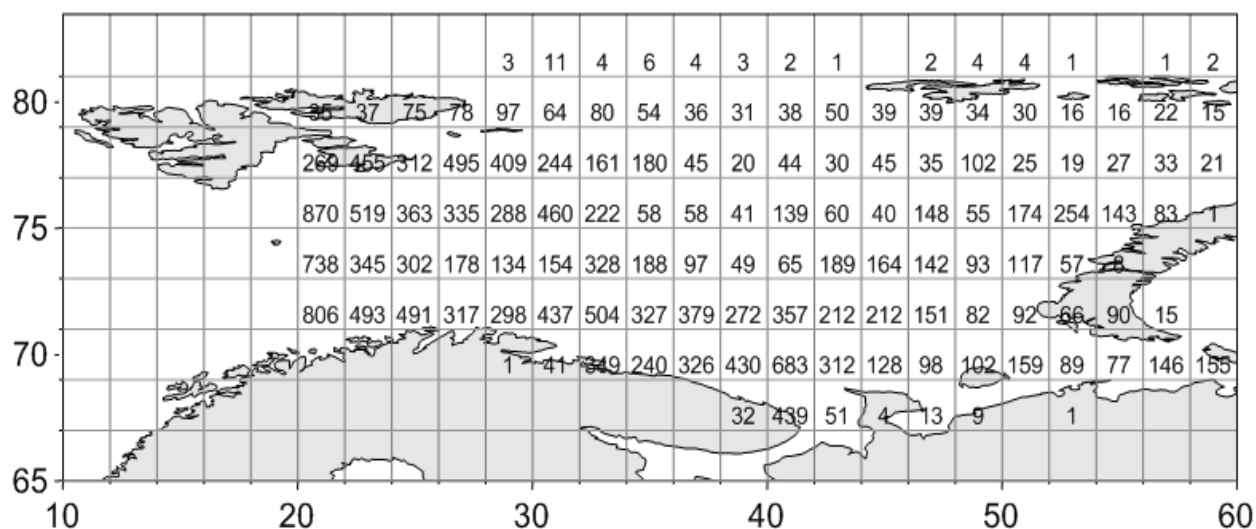


Рисунок 3.1 – Распределение данных наблюдений за туманами по акватории Баренцева моря

Данные отобраны за период с 1950 по 2021 гг. На рисунке 3.1 представлено распределение количества наблюдений за туманами по акватории Баренцева моря. По этим данным видно, что большая их часть сконцентрирована в западной части и вдоль береговой линии, и небольшой количество наблюдений в северной части моря. Связано это с тем, что северная часть моря большую часть года покрыта льдом. Использовались такие метеорологические величины как:

- температура;
- точка росы;
- атмосферное давление;
- скорость и направление ветра;
- видимость;
- явления погоды;

А также дата наблюдения (год, месяц, день, срок), широта и долгота места наблюдения.

Данные обрабатывались с помощью СУБД Microsoft Access и Microsoft Excel.

3.2. Пространственно-временной режим туманов.

В целом повторяемость туманов по всей акватории Баренцева моря можно рассмотреть и для каждого конкретного сезона. Так в зимний период туманы преимущественно наблюдаются в западной части моря вдоль кромки льда, а также небольшая часть возле Новой земли и у побережья материка (Рисунок 3.2). Зимой повторяемость туманов не превышает 1—2,5%. В среднем за месяц наблюдается от 1 до 3 суток с туманом. В отдельные годы туманы зимой вообще не образуются.

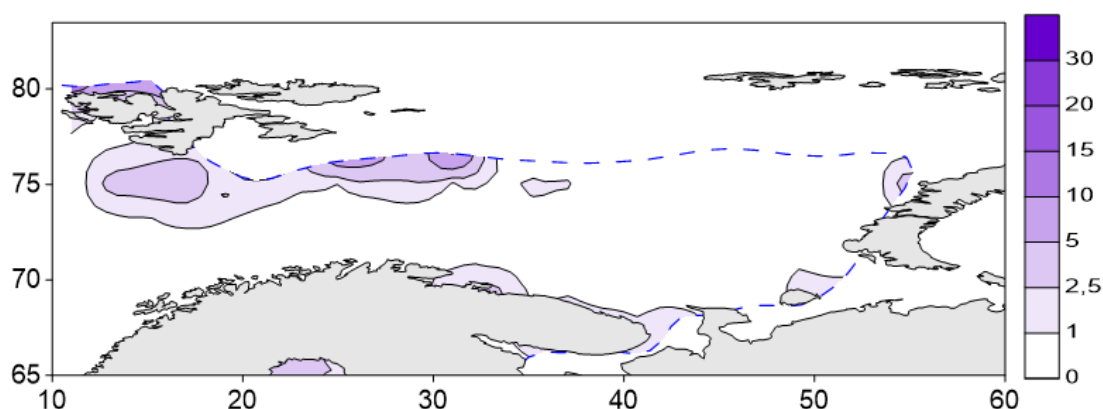


Рисунок 3.2 – Повторяемость туманов в зимний период

Весной количество и площадь, на которой наблюдаются туманы, увеличивается. Случаи с туманами зафиксированы вдоль всей кромки льда и занимают значительную акваторию (Рисунок 3.3)

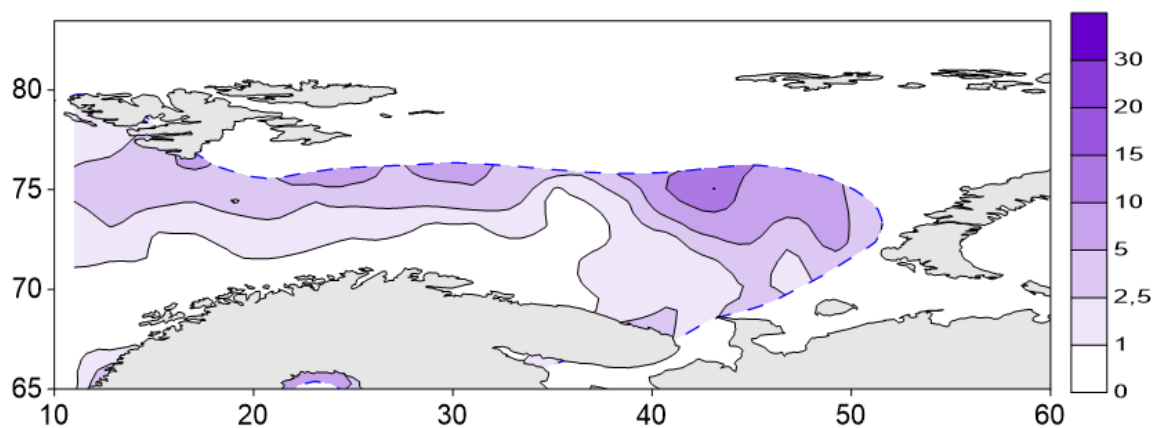


Рисунок 3.3 – Повторяемость туманов в весенний период

В летний сезон количество случаев с туманами максимально и охватывает всю акваторию Баренцева моря (Рисунок 3.4). Пространственное распределение туманов летом характеризуется увеличением их повторяемости с юго-запада на северо-восток. Область повышенной повторяемости туманов занимает северную половину моря. Среднее за месяц число дней с туманом составляет 13—20, а в отдельные годы может достигать 28.

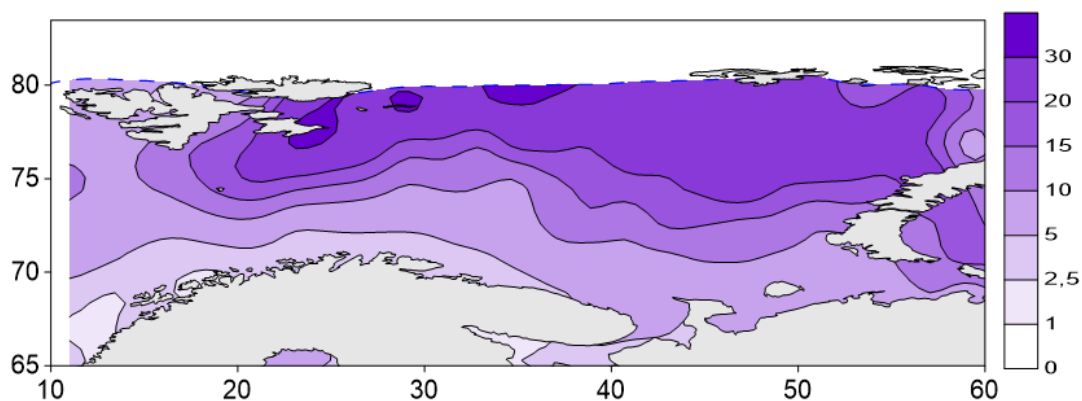


Рисунок 3.4 – Повторяемость туманов в летний период

После летнего сезона, осенью повторяемость туманов снижается, но все также занимает большую часть акватории и максимальное количество случаев приходится на северную часть (Рисунок 3.5).

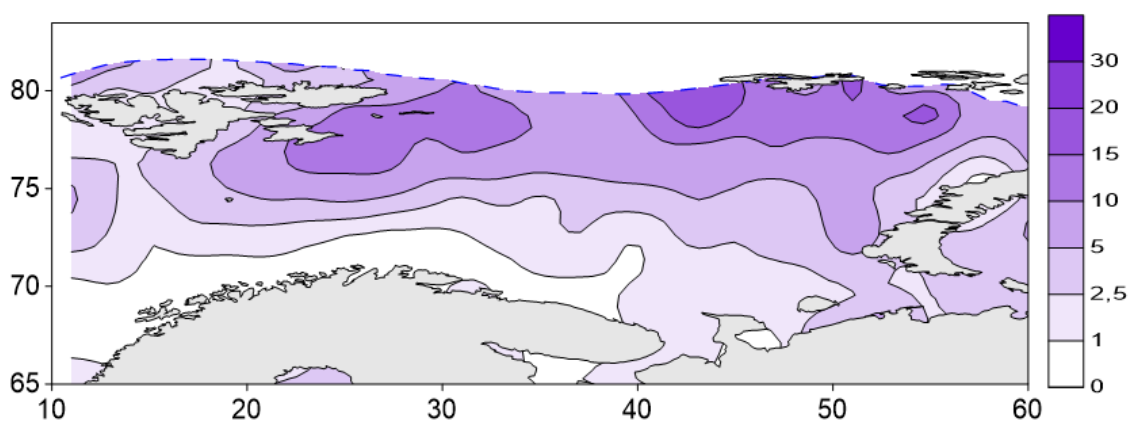


Рисунок 3.5 – Повторяемость туманов в осенний период

По данным массива NCDC была рассчитана повторяемость туманов в зависимости от срока и месяца наблюдения. Результаты представлены в таблице (Таблица 3.1). По данным таблицы видно, что в целом повторяемость по срокам наблюдения во все месяца почти не меняется, небольшие максимумы для зимнего периода можно заметить в середине дня, а в летний период небольшие максимумы в утренние часы.

Таблица 3.1. – Повторяемость тумана, %

срок наблюдения	месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	21,26	16,67	14,27	16,68	23,24	24,80	25,62	23,58	19,67	19,55	16,70	19,00
6	23,15	29,71	35,26	32,85	26,70	26,45	26,36	26,64	28,81	28,88	28,52	26,02
12	32,89	31,28	23,11	22,93	25,17	23,12	23,44	24,18	25,39	29,39	34,71	30,32
18	22,70	22,34	27,36	27,54	24,89	25,63	24,58	25,60	26,13	22,18	20,08	24,66

3.3 Анализ метеорологических условий, влияющих на образование тумана.

Так же была рассчитана повторяемость туманов при различной видимости (500 метров, 200 метров, 50 метров, <50 метров) для всех месяцев (Рисунок 3.6), что характеризует их интенсивность. По графику мы можем

заметить, что наиболее интенсивные туманы приходятся на период с конца весны по начало осени. Менее интенсивные туманы – в зимний период.

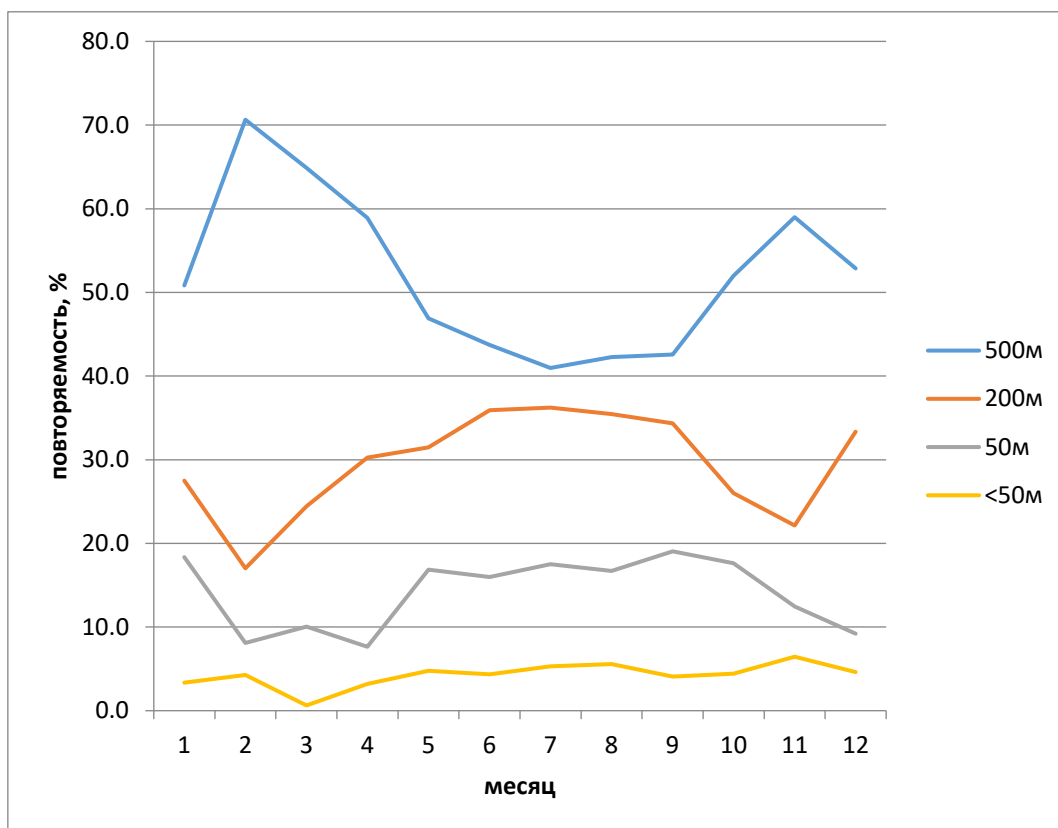


Рисунок 3.6 – Повторяемость туманов при различной видимости, %

Прежде чем провести анализ розы ветров при туманах, я разделила Баренцево море на четыре района (Рисунок 3.7). Первый район — это северо-западная часть моря вблизи Шпицбергена. Второй район его центральная часть. Третий район восточная часть у Новой земли. Четвертый район занимает южную акваторию вдоль береговой линия материка. Четкую границу между указанными районами провести трудно, так как переход от одних климатических условий к другим происходит постепенно.

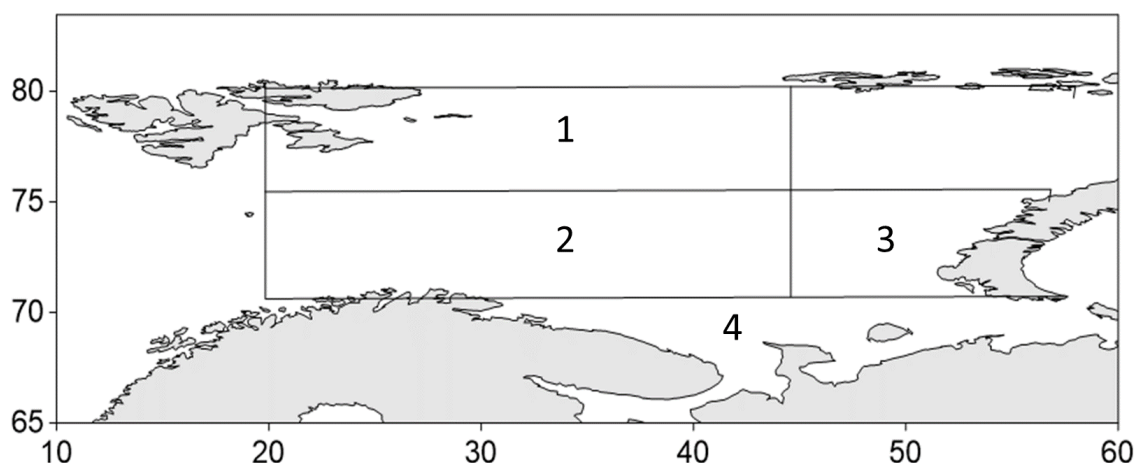


Рисунок 3.7 – Расположение районов для анализа

Были построены розы ветров по каждому сезону для всех районов. На графиках представлено по две розы, синяя показывает повторяемость ветра при туманах, а красная в целом за весь сезон в данном районе.

В первом районе (Рисунок 3.8) зимой чаще всего при туманах наблюдается ветер северного и северо-восточного направления, чуть реже южного направления. Весной все также преобладающими направлениями ветра остаются северное и северо-восточное, но еще довольно часто встречается и юго-западное направление. Летом и осенью ситуации похожие и там чаще всего ветра южных, восточных и северных направлений. Также осенью наблюдается ветер юго-западного направления.

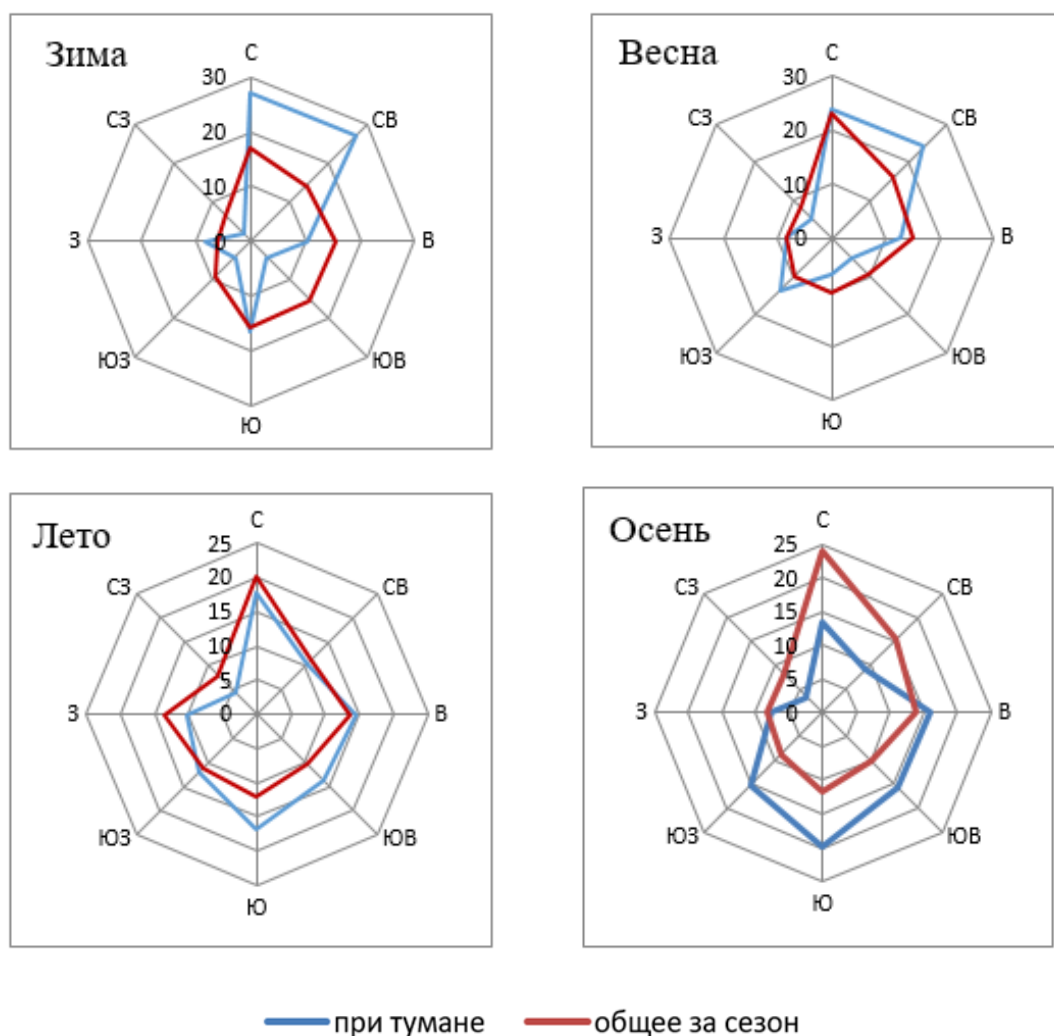


Рисунок 3.8 – Розы ветров для первого района

Для второго и четвертого района направления ветров похожи. Зимой это южное и юго-западное направление, но в 3 районе еще преобладают северные ветры. Весной это северные, восточные и западные. Летом чаще всего дуют ветра восточного и северного направления, а также в 3 районе еще юго-восточного направления. Осенью преобладают ветра трех направлений: юго-восточные, восточные, южные и западные, а также в 3 районе западные и в 5 районе юго-западные.

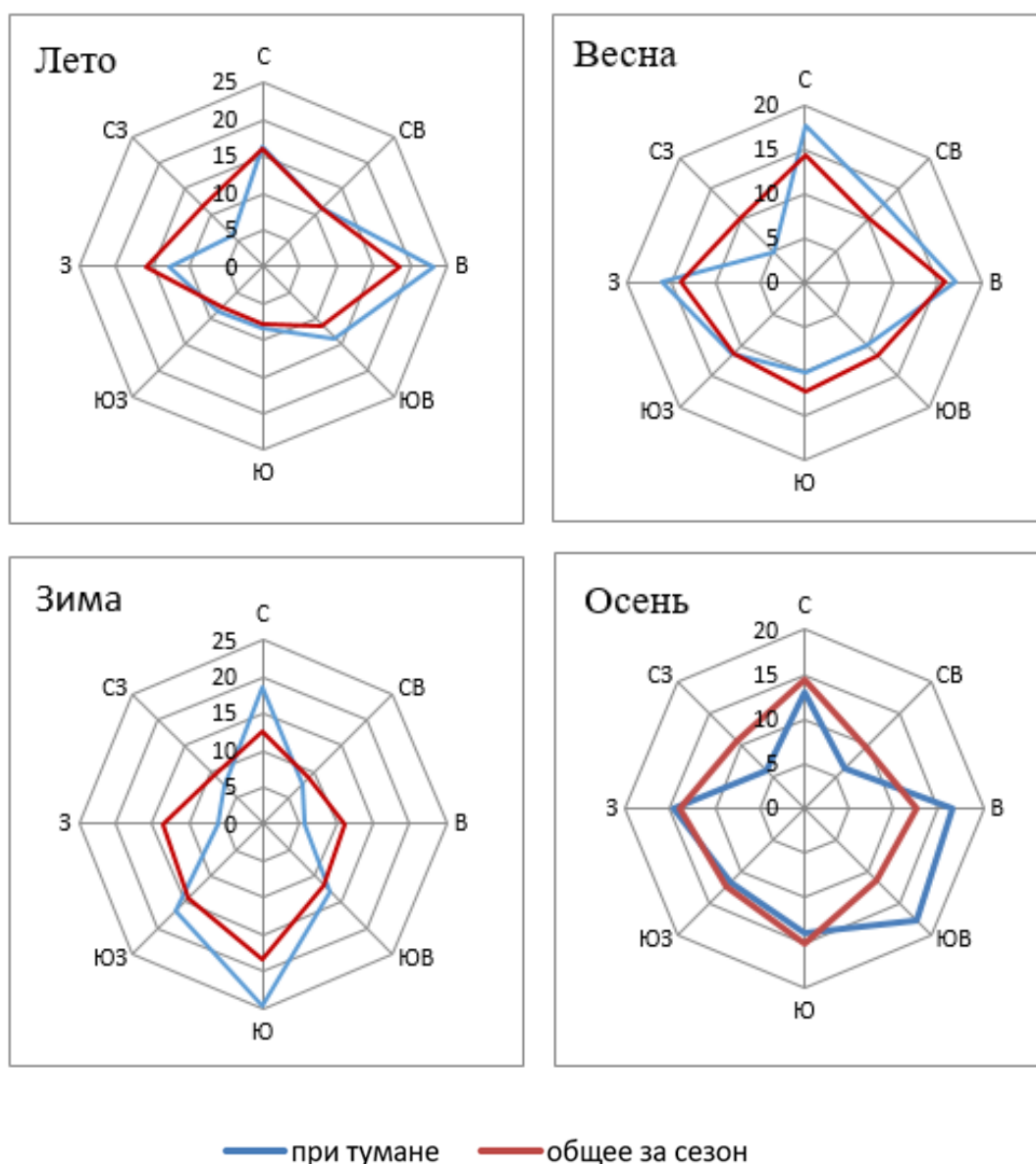


Рисунок 3.9 – Розы ветров для второго района

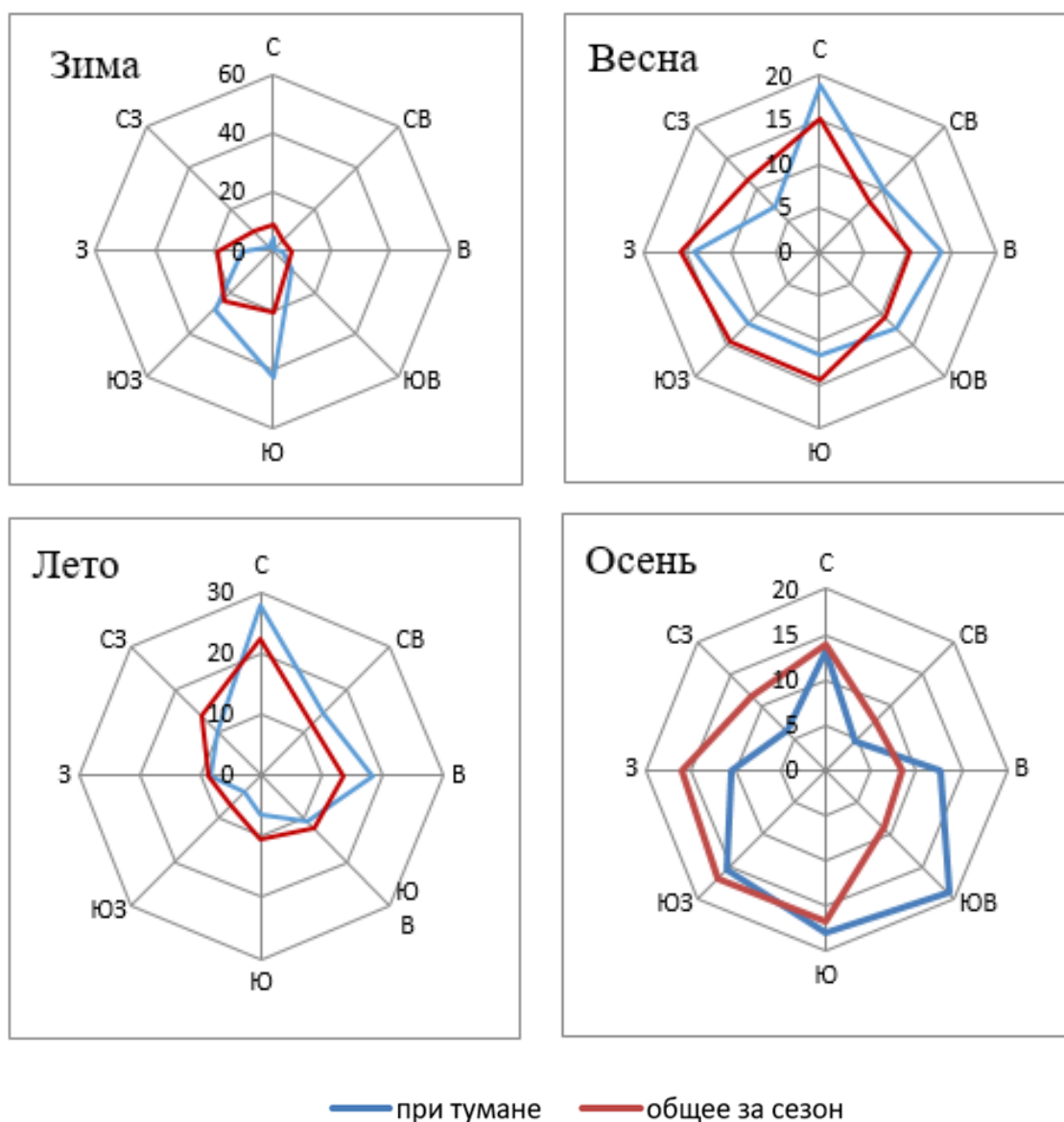


Рисунок 3.11 – Розы ветров для четвертого района

В третьем районе зимой ветра юго-восточных и южный направлений, весной это северные, юго-восточные, западные и восточные ветры, летом дуют ветра северных, южных и западных направлений, а осенью преобладают ветра преимущественно южных направлений.

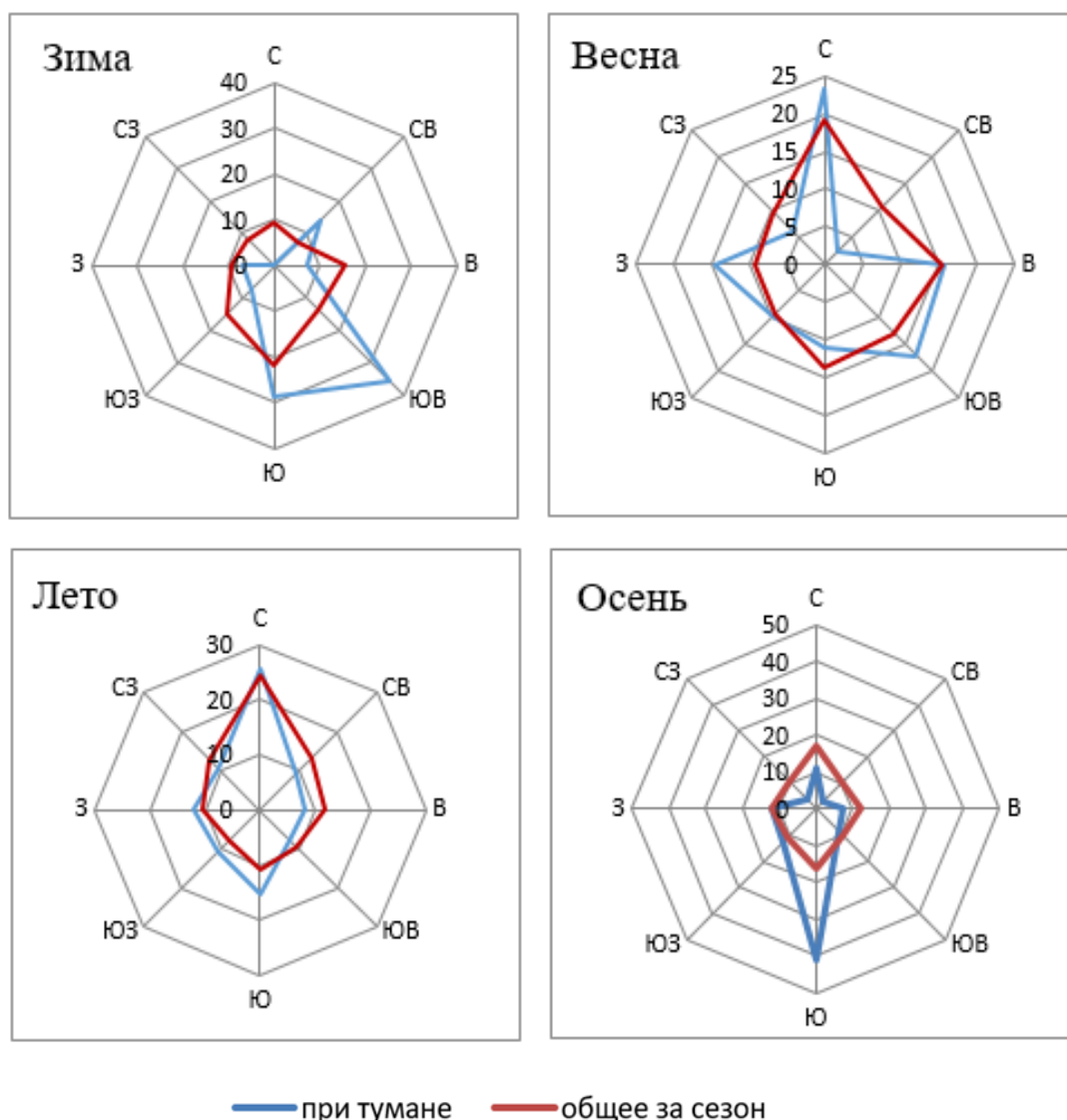


Рисунок 3.10 – Розы ветров для третьего района

Также проанализируем повторяемости по градациям ветра, градации через 2м/с. Расчеты сделаны по всей акватории Баренцева моря, так как скорости не зависят от положения района. В зимний период преобладающие скорости ветра это 8-10м/с. Весной, летом и осенью это 4-6 м/с и характер кривых для этих сезонов схож между собой. Но характер кривой для ноября и марта более близок к зиме, так как это переходные месяцы для сезонов (Рисунок 3.12-3.15).

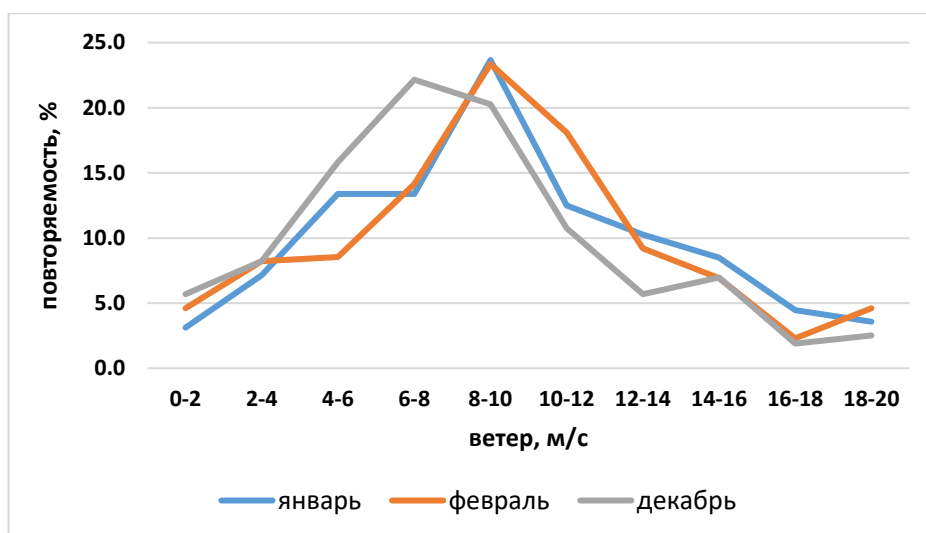


Рисунок 3.12 – Повторяемость туманов по градациям скорости ветра зимой

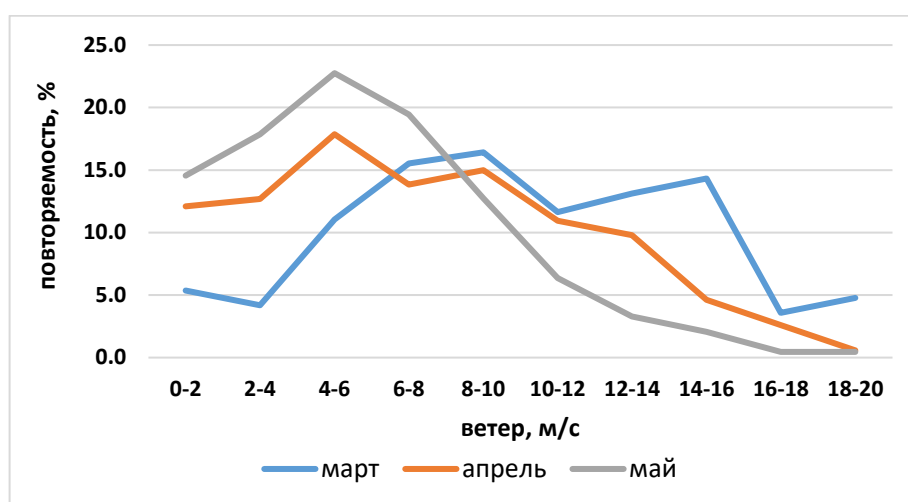


Рисунок 3.13 – Повторяемость туманов по градациям скорости ветра весной

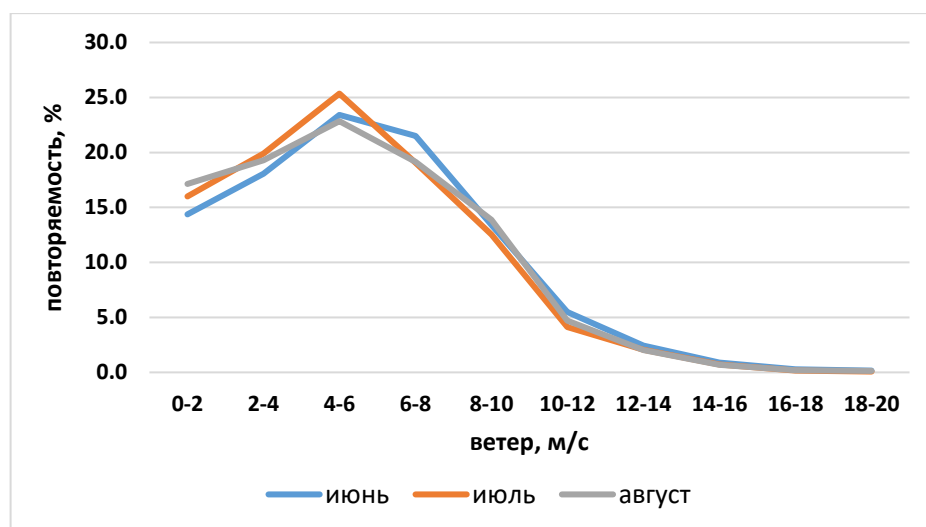


Рисунок 3.14 – Повторяемость туманов по градациям скорости ветра летом

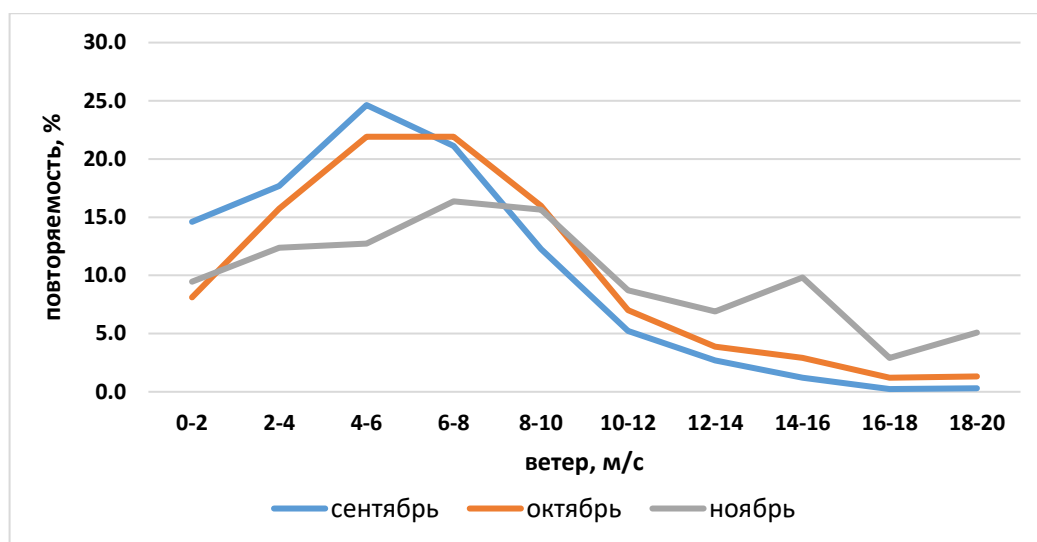


Рисунок 3.15 – Повторяемость туманов по градациям скорости ветра осенью

На рисунке 3.16 представлена повторяемость разности температур «вода – воздух» по градациям. На диаграмме видно, что большая часть туманов приходится на диапазон разницы температур от -2°C до 0°C и от 0°C до $+2^{\circ}\text{C}$. На эти градации приходится 33,4% и 30,8% соответственно, что в сумме составляет больше 60%. В три раза меньше приходится на диапазоны от -2°C до -4°C и от $+2^{\circ}\text{C}$ до $+4^{\circ}\text{C}$. В сумме обе эти градации составляют 22,5%. Все остальные градации составляют минимальные значения от 0,2% до 3,2%. Эти данные можно использовать для уточнения типа тумана. При отрицательной разнице температур формируются туманы адвективные, при положительных, с разницей больше 10°C , – туманы испарения.

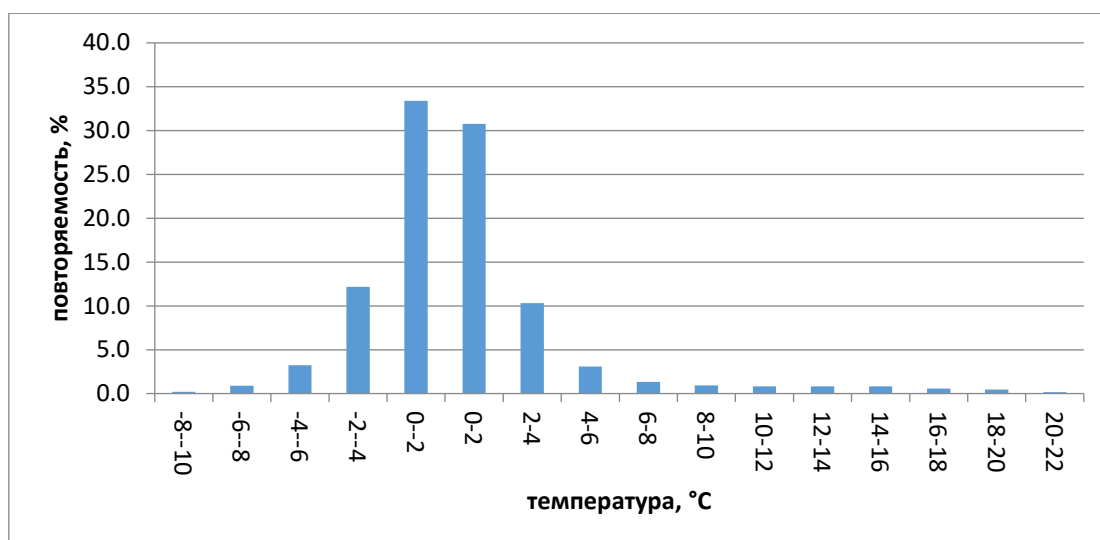


Рисунок 3.16 – Повторяемость разности температур вода-воздух по градациям

Таблица 3.2. – Количество случаев с туманами по градациям относительной влажности и температуры воздуха

f%	-20 -18	-18 -16	-16 -14	-14 -12	-12 -10	-10 -8	-8 -6	-6 -4	-4 -2	-2 0	0 +2	+2 +4	+4 +6	+6 +8	+8 +10	+10 +12	+12 +14	+14 +16	+16 +18
50-54															1				
55-59													1	1	9				
60-64							1	1				1	0	8			1		
65-69	1				1			1	1		2	2	3	3		1		1	
70-74					3	1	2		2		1	5	16				2		1
75-79			2	2	2	3		2	1	1	3	31	18	6	4	1	3	1	1
80-84			5	5	1	4	2	3	2	8	14	43	12	9	11	6	3	1	1
85-89	1		6	9	5	3	2		4	18	51	55	67	64	45	17	5		
90-94			1	10	10	11	4	3	15	43	103	174	212	158	127	55	7	2	1
95-100		2	6	6	4	8	4	4	17	134	441	719	879	647	357	105	8		1

В таблице 3.2 представлено количество случаев с туманами по градациям относительной влажности и температуры воздуха. По ней видно, что чаще всего туманы наблюдаются при высокой относительной влажности от 95% и выше, а также при положительных температурах воздуха, то есть в летний период. Также можно заметить, что при понижении температуры туманы начинают формироваться при более низкой влажности.

4. Анализ синоптических ситуаций при возникновении туманов над Баренцевым морем.

Для того чтобы выделить типы туманов свойственные конкретно для Баренцева моря, были проанализированы приземные карты погоды за различные даты в соответствии с данными массива о наличии тумана в определенные дни. Рассмотрены больше 20 случаев с разными типами туманов.

На рисунке 4.1 представлена высотная карта погоды за 8 ноября 1995 года за 18:00 ВСВ. На карте мы видим, что в районе северо-восточной части Гренландии расположен центр антициклона, который образует гребень в сторону Баренцева моря. Данный гребень образуется еще в 06:00 ВСВ 8 ноября 1995 года и продолжает усиливаться до 00:00 ВСВ 9 ноября 1995. В момент, когда данный гребень наиболее выражен, на его оси образуется туман испарения. Также в этот срок разность температуры воды и температуры воздуха составляет $14,5^{\circ}\text{C}$, ветер СВ, холодная арктическая воздушная масса приходит на относительно теплую поверхность воды.

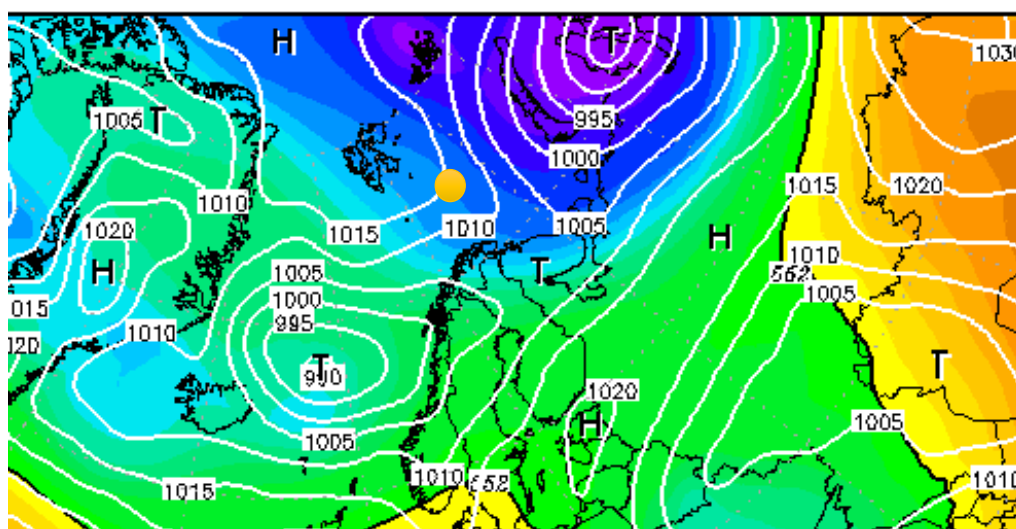


Рисунок 4.1 – Приземная карта и АТ500 за 8 ноября 1995 года 18 ВСВ, реанализ CFSR (желтая точка – область тумана)

Также туманы испарения, когда разность «вода – воздух» больше 10°C , можно наблюдать в малоградиентных полях. В малоградиентных полях наблюдаются небольшие скорости ветра, что благоприятно влияет на образование туманов. Пример такой синоптической ситуации можно увидеть на рисунке 4.2. На приземной карте за 16 февраля 2007 года 06 ВСВ мы видим центр антициклона над Архангельской областью с давлением в центре 1035гПа. Все последующие изобары расположены достаточно далеко друг от друга, что в результате образует малоградиентное поле. Температура воздуха -14°C , температура воды $+4^{\circ}\text{C}$, скорость ветра 4м/с.

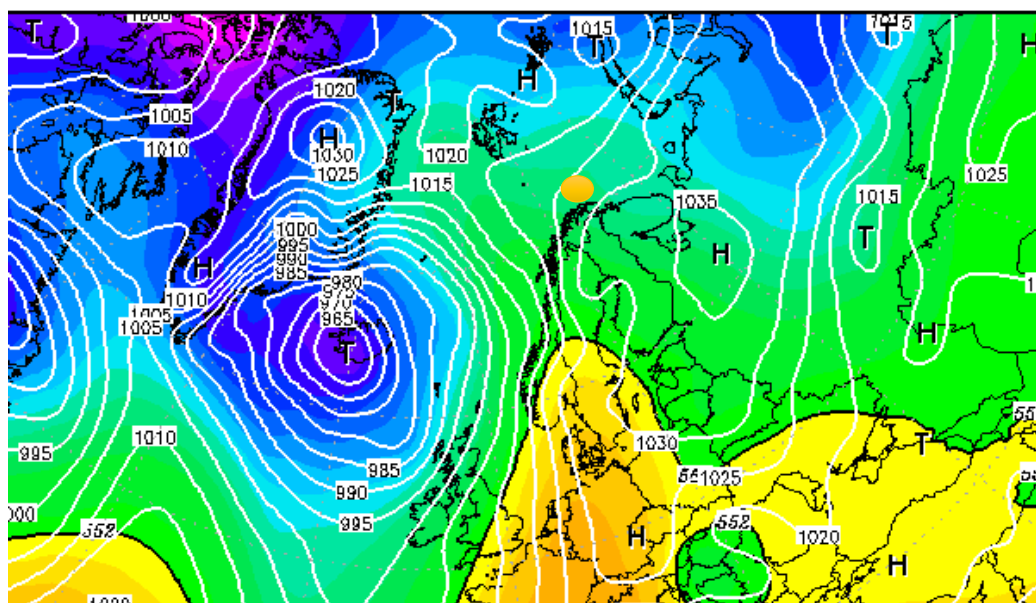
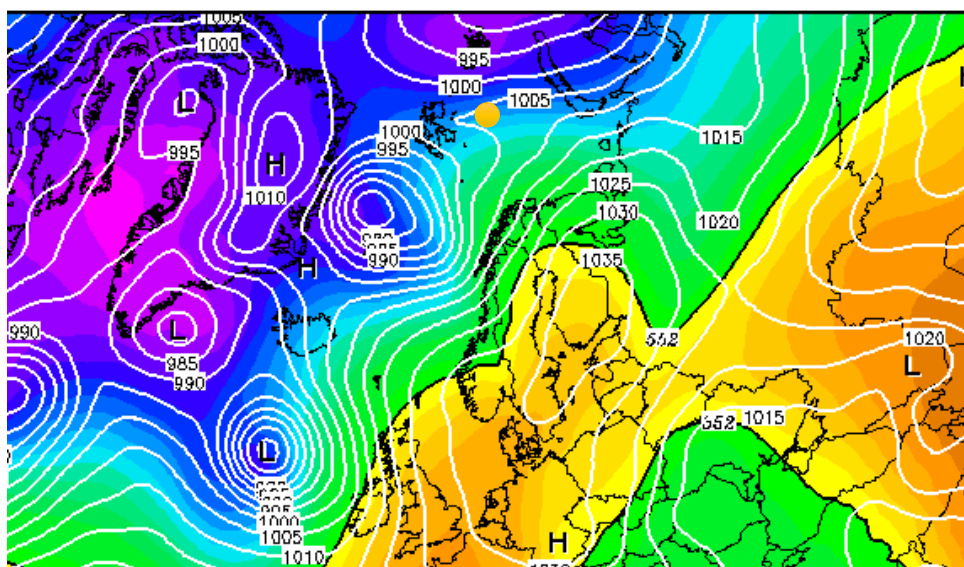


Рисунок 4.2 – Приземная карта и АТ500 за 16 февраля 2007 года 06 ВСВ, реанализ CFSR (желтая точка – область тумана)

Такого типа туманы над Баренцевым морем, как правило, возникают в холодные сезоны года, а характерные синоптические ситуации при этом такие: в гребнях повышенного давления, чуть реже в малоградиентном поле, а также встречаются в ложбинах и седловинах.

Рассмотрим синоптическую ситуацию 12 марта 2015 года (рисунок 4.3 – 4.4). Мы видим центр циклона над Гренландским морем, под влиянием которого образуется теплый фронт в 00ч. Этот теплый фронт в 06ч проходит

от западной части о. Западный Шпицберген до Новой Земли, как раз над всей акваторией Баренцева моря. На этом фронте образуется туман, тип которого так и называется туман на теплом фронте. Фронтальные туманы по большей части образуются в холодной воздушной массе, при выпадении слабого дождя или мороси перед медленно движущимся теплым фронтом или фронтом окклюзии по типу теплого в результате испарения более теплых капель дождя или мороси.



Также значительную часть всех туманов над Баренцевым морем составляют адвективные туманы. Сами по себе адвективные туманы могут образовываться в любое время и в любой сезон. Конкретно над Баренцевым морем такого типа туманы появляются при установившемся потоке воздушных масс с Арктики, который создается разными синоптическими условиями.

Одним из таких условий является теплый сектор циклона, где барический градиент с достаточной величиной для адвекции влажного и теплого воздуха. Пример такой ситуации представлен на рисунке 4.5–4.6. В дни с 19 по 20 августа 2020 года над азиатской частью России наблюдается циклон. Также над восточной частью Гренландского моря наблюдается циклон, Баренцево море оказывается под влиянием теплого сектора этого циклона. Между этими двумя циклонами образуется малоградиентное поле, что благоприятно влияет на образование туманов. Скорость ветра в эти дни 4-5 м/с, а направление ветра ЮЗ.

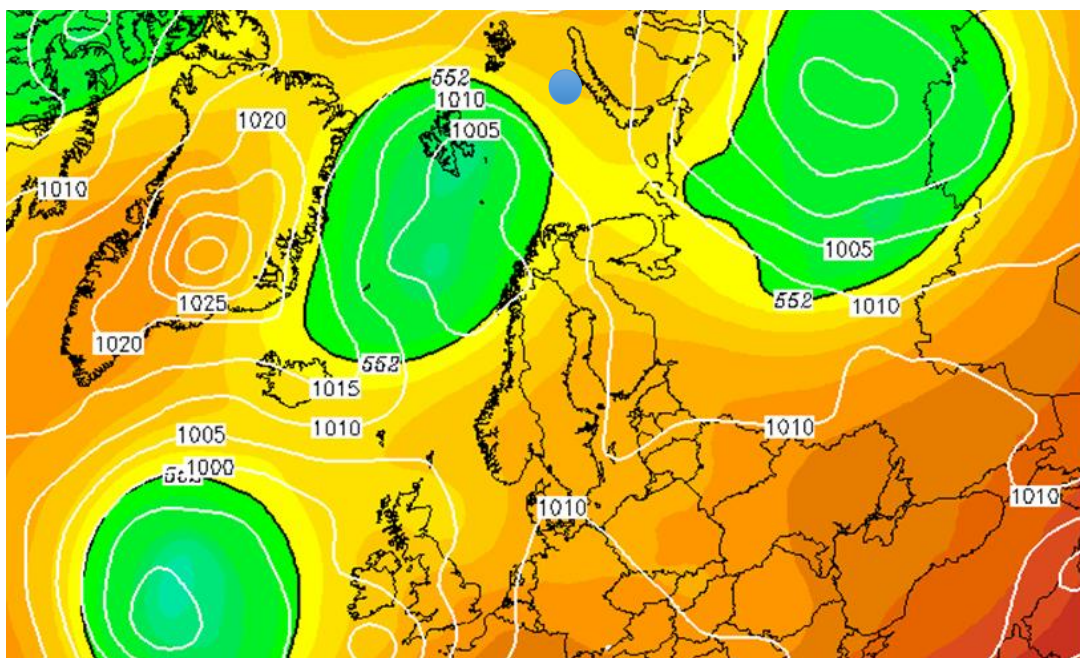


Рисунок 4.5 – Приземная карта и АТ500 за 19 августа 2020 года, реанализ CFSR (синяя точка – область тумана)

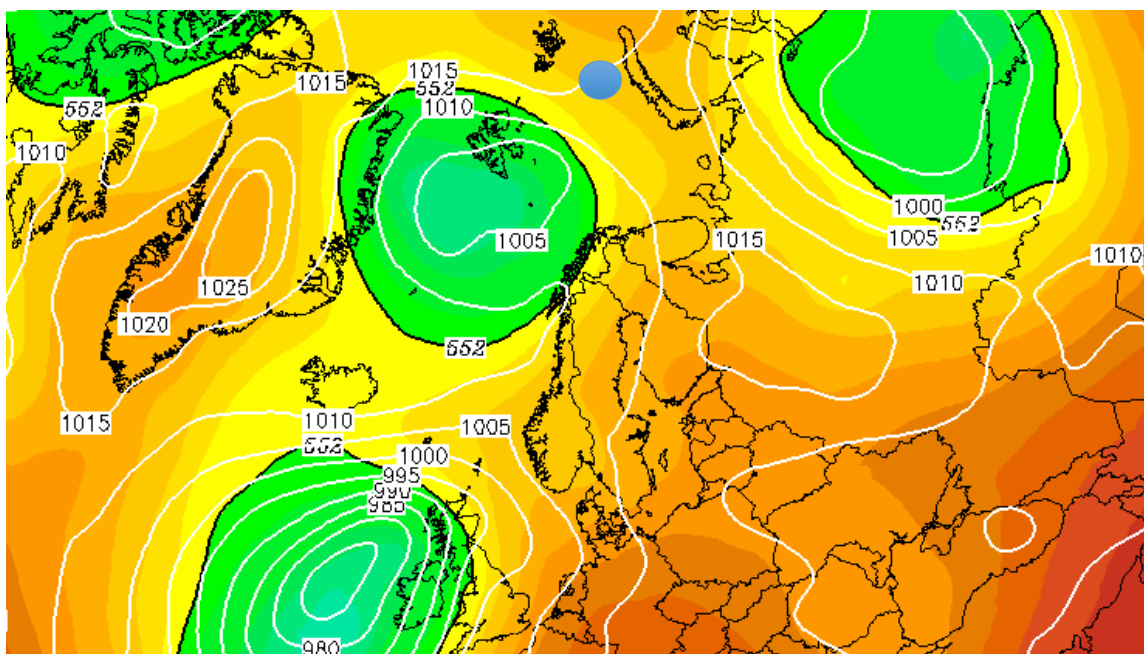


Рисунок 4.6 – Приземная карта и АТ500 за 20 августа 2020 года, реанализ CFSR (синяя точка – область тумана)

Важно помнить, что адвективные туманы могут занимать большие площади и продолжаться до нескольких дней, а также тянутся до высоты нескольких сотен метров.

Благоприятным условием образования адвективных туманов над Баренцевы морем является перемещения теплого воздуха с суши на относительно холодное море. Пример такой ситуации можно увидеть на рисунке 4.7 – 4.8. На карте для 12 июня 2021 года мы видим ложбину над всей акваторией, а в соответствии с тем как расположены изобары видно, что ветер и поток воздушных масс идет с материка на море. В итоге в центре Баренцева моря образуется туман достаточно большой площади. Также на карте для 24 июля 2019 года мы видим ложбину, а по изобарам видим, что поток воздушных масс движется с суши на море, где образуется обширный адвективный туман.

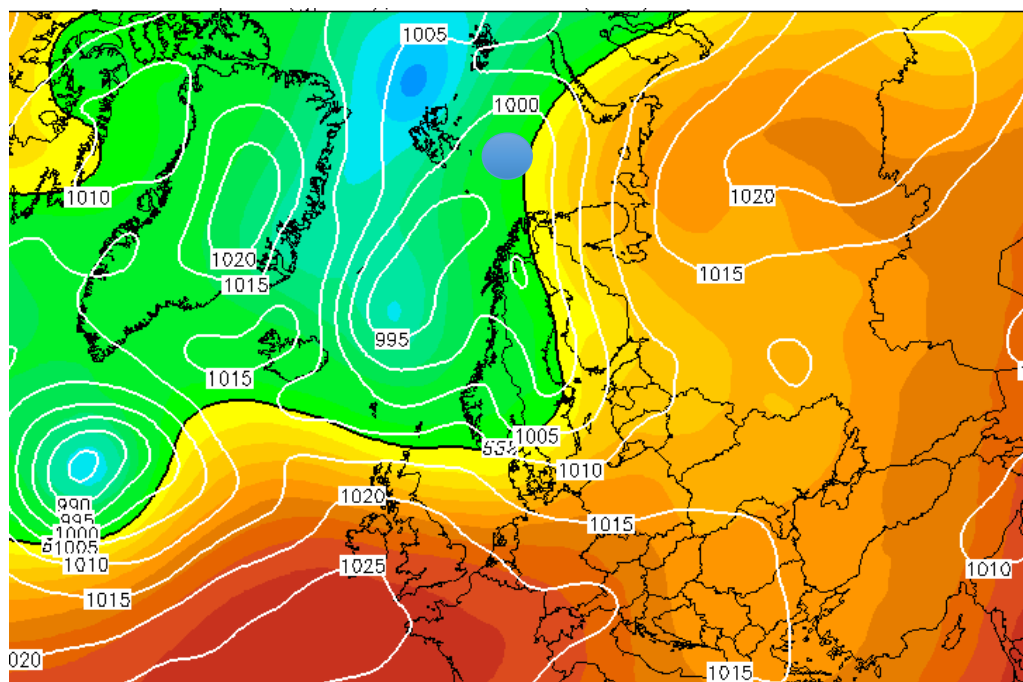


Рисунок 4.7 – Приземная карта и АТ500 за 12 июня 2021 года 06 ВСВ, реанализ CFSR (синяя точка – область тумана)

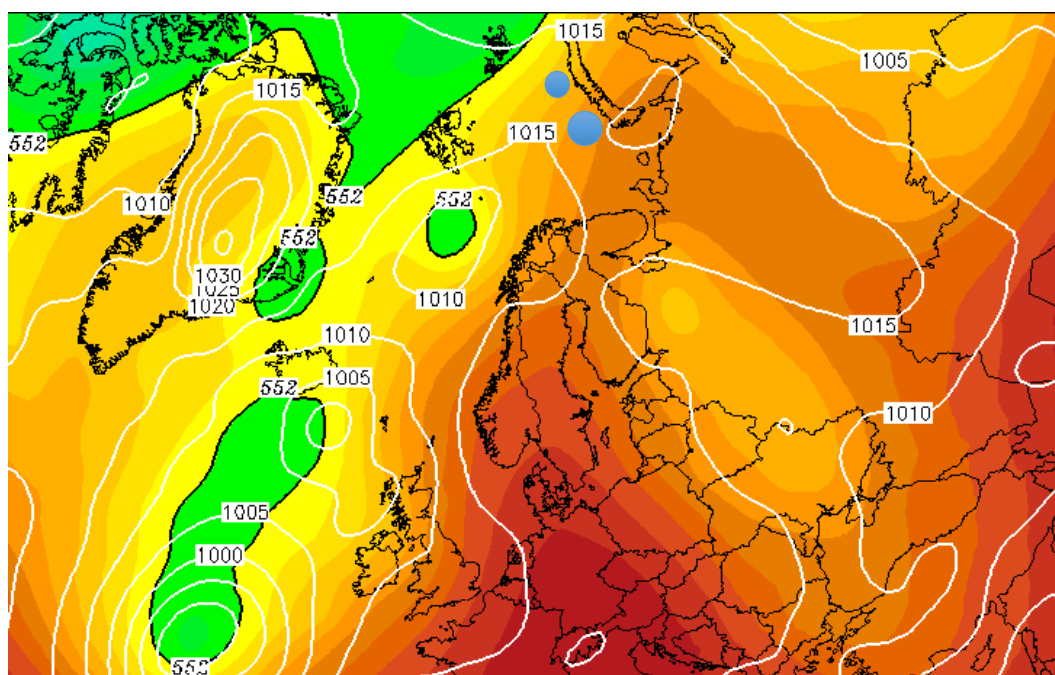


Рисунок 4.8 – Приземная карта и АТ500 24 июля 2019 года, реанализ CFSR (синие точки – области тумана)

В результате анализа синоптических ситуаций для Баренцева моря можно выделить несколько характерных видов тумана: адвективные туманы, туманы испарения и туманы на теплых фронтах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенной работы изучены условия образования туманов в Баренцевом море. По итогам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

Зимой повторяемость туманов не превышает 1—2,5%. В среднем за месяц наблюдается от 1 до 3 суток с туманом. При этом важно отметить, что в отдельные годы туманы зимой вообще не образуются. Весной же количество и площадь, на которой наблюдаются туманы, увеличивается. В летний период количество туманов максимально и охватывает всю акваторию Баренцева моря. А для осеннего сезона характерен спад повторяемости туманов, однако она все также занимает большую зону акватории Баренцева моря, в особенности северную ее часть.

В ходе расчета повторяемости туманов в зависимости от срока и месяца наблюдения, было выявлено, что значения распределены без явно выделяющихся сроков и месяцев.

Также, в ходе расчета повторяемости туманов при различной видимости, было определено, что наиболее интенсивные туманы наблюдаются в летние месяцы, а менее интенсивные в зимние.

При построении розы ветров для разных районов акватории, было определено, что направление ветра во многом зависит от сезона и района формирования. Главное, что становится благоприятной ситуацией, это когда в летний период ветры дуют с материка на море, а в зимний период наоборот, с моря на сушу.

Рассматривая повторяемости туманов при разных скоростях ветра в разные сезоны, можно выделить, что наиболее часто туман наблюдается при скоростях ветра 8-10 м/с для зимы, для весны, лета и осени преобладающие скорости ветра 4-6 м/с.

Большая часть туманов приходится на диапазон разницы температур «вода – воздух» от -2°C до 0°C и от 0°C до $+2^{\circ}\text{C}$. На эти градации приходится 33,4% и 30,8% соответственно.

Максимум количества случаев повторяемости туманов приходится на влажность воздуха от 95% и выше и при температуре воздуха от $+2^{\circ}\text{C}$ до $+6^{\circ}\text{C}$.

В качестве наиболее характерных видов туманов для территории Баренцева моря можно выделить: адвективные туманы, туманы испарения и туманы на теплых фронтах. Адвективные туманы представляют наибольшую опасность, так как они не редко наблюдаются по несколько дней подряд с достаточно большой интенсивностью в летние месяцы. В целом в различных частях антициклона повторяемость туманов выше, чем в циклонах. Также, одной из самых благоприятных синоптических ситуаций для образования тумана становится малоградиентное поле.

Цель достигнута, задачи выполнены в полном объеме.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев А.Т. Курс общей метеорологии. Физика Атмосферы – Л.: Гидрометеиздат, 1984 г. – 738 с.
2. Зверев А.С. Синоптическая метеорология - Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 713 с.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. - Л.: Гидрометеиздат, 1994. — 305 с.
4. Комплексный гидрометеорологический справочник Баренцева и Белого морей/ Глав. упр. Гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Науч.-исслед. ин-т аэроклиматологии; Под ред. А. И. Сачковой. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. — 251 с.
5. Богаткин О.Г. Практикум по курсу «Основы авиационной метеорологии» [текст] / О.Г. Богаткин. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. – 136 с.
6. Национальные центры экологической информации. [Электронный ресурс]/ URL: <https://www.ncei.noaa.gov/data/marine/icoads3.0/enhanced-trim/>
7. Реанализ CFSR. [Электронный ресурс]/ URL: <https://www.wetterzentrale.de/>
8. Практикум по синоптической метеорологии. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2006 – 304 с.
9. Воробьев В.И. Основные понятия синоптической метеорологии. Учебное пособие. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2003 – 48 с.