



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: «Условия образования замерзающих осадков на аэродроме Талаги
(г. Архангельск)»

Исполнитель Белозерова Владислава Максимовна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Волобуева Ольга Васильевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

«08» июня 2025 г.

Санкт-Петербург

2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАМЕРЗАЮЩИХ ОСАДКОВ	4
1.1 Виды обледенения.....	4
1.2 Классификация ледяных отложений по их форме на поверхности воздушных судов.....	5
2. УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЗАМЕРЗАЮЩИХ ОСАДКОВ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ОБЛЕДЕДЕНИЕМ.....	7
2.1 Метеорологические условия для образования замерзающих осадков.....	7
2.2 Синоптические условия для образования замерзающих осадков	8
2.3 Методы борьбы с обледенением	9
3. ДАННЫЕ О ЗАМЕРЗАЮЩИХ ОСАДКАХ НА АЭРОДРОМЕ ТАЛАГИ (Г. АРХАНГЕЛЬСК).....	11
3.1 Физико-географическое описание и климатические особенности, способствующих возникновению гололедно-изморозевых отложений	11
3.2 Исходные данные и их упорядочение	12
3.3 Условия образования замерзающих осадков и обзор синоптических ситуаций.....	19
3.4 Обзор отдельных случаев синоптических ситуаций	28
4. МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАМЕРЗАЮЩИХ ОСАДКОВ	35
4.1 Метод прогнозирования Р.А. Ягудина	35
4.2 Другие методы прогнозирования замерзающих осадков	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	40
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	41

ВВЕДЕНИЕ

Замерзающие осадки — это осадки в виде дождя, мороси или мокрого снега, которые замерзают при соприкосновении с поверхностями низких температур, образуя гололед или ледяную корку. Такие осадки образуются благодаря температурной инверсии, когда в верхних слоях атмосферы температура выше, чем в слоях, которые находятся ближе к поверхности земли.

Обледенение особенно опасно для воздушных судов, так как может негативно повлиять на безопасность полета. Обледенение в свою очередь, это образование льда на обтекаемых частях самолетов и других холодных поверхностях. Образование корки льда может происходить в слое от земной поверхности до 10-12 км, чаще всего оно наблюдается на высотах до 4 км. Продолжительность такого образования обычно до 5 минут, в некоторых случаях время продолжительности может достичь и 30 минут. Возникает такое явление в случае, если на высоте, на которой летит самолет, появляются переохлажденные капли, а поверхность воздушного судна имеет отрицательную температуру. Переохлажденные капли, это капли, которые имеют температуру ниже 0°C. Из-за появления ледяной корки меняется масса воздушного судна, а также аэродинамические условия обтекания воздушным потоком. Также опасность замерзающих осадков зависит от типа отложения льда и облачности.

Замерзающие осадки также опасны для гражданского населения. Ледяная корка, образующаяся на холодных поверхностях, может привести к многочисленным травмам у людей, к автомобильным авариям и значительно усложнить управление поездов на железнодорожных путях.

Интенсивность обледенения — это важная характеристика к прогнозу обледенения, которая зависит от температуры поверхности, куда приземляется капля, от водности облака и размеров капель. Интенсивностью

называется общее отложение льда и его степень может возрастать, если воздушное судно совершает полет при одной и той же интенсивности, то время полета становится больше.

Цель работы: исследование условий замерзающих осадков на аэродроме Талаги.

Поставленные задачи:

1. Создать архив данных по замерзающим осадкам за последние 5 лет.
2. Проанализировать годовой ход случаев замерзающих осадков.
3. Проанализировать синоптические ситуации, при которых возможно образование замерзающих осадков.
4. Апробировать метод прогнозирования замерзающих осадков.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАМЕРЗАЮЩИХ ОСАДКОВ

1.1 Виды обледенения

Ледяные отложения в полете зависят не только от температурной инверсии, но и от типа облачности, в которых пролетают воздушные суда. По своему характеру обледенения могут быть в виде льда, изморози или инея. Лед, в свою очередь, бывает нескольких типов: прозрачным, матовым полупрозрачным, матовым смешанным и крупнообразным.

Такой тип льда как прозрачный образуется при полете в облаках или под облаками, которые полностью состоят из переохлажденных капель. Лед начинает интенсивно откладываться на частях воздушного судна. Прозрачный лед гладкий, он достаточно плотно прилегает к поверхности самолета, из-за чего его трудно удалять. При небольшой толщине такого льда он почти не опасен, но при уже значительной толщине может представлять угрозу для полета.

Матовый полупрозрачный и смешанный лед может появиться, если воздушное судно пролетает в смешанных облаках, которые состоят из мелких и крупных переохлажденных капель или снежинок. Размер капель напрямую влияет на обледенение: крупные капли, сталкиваясь с поверхностью самолета, растекаются и замерзают, а более мелкие капли не растекаются, но также замерзают. Снежинки прилипают к пленке, образовавшейся от воды, и образуют ледяную корку с шероховатой поверхностью. Из-за образования такого негладкого отложения льда этот вид обледенения считается наиболее опасным.

Крупнообразный лед возникает при температуре ниже 10°C. Данный тип обледенения характерен для облаков, которые состоят из мелкодисперсных капель, а образующаяся корка льда имеет пористую структуру и слабое сцепление с поверхностью самолета. Несмотря на то, что такой тип

обледенения кажется менее опасным, при уплотнении такой лед может создавать значительные помехи при полете.

Изморось может образоваться при полете в облаках или в замерзающем тумане, где температура ниже -10°C . Она возникает, когда капель и ледяные кристаллы замерзают вместе, образуя крупнозернистое шероховатое отложение. Такой вид замерзающих осадков к поверхности самолета прилипает совсем непрочно, но все равно имеет опасность для полетов. Существует два вида изморози: зернистая и кристаллическая. Изморось может возникнуть в двух случаях, когда ее формирование связано с адвекцией тепла, это происходит на перифериях антициклона, в таком случае возникает зернистая изморось. Во втором случае может образоваться кристаллическая изморось. Это происходит за счет постепенного похолодания в нижней части тропосферы.

Иней, в свою очередь, состоит из мелких кристаллов, которые создают ледяной налет в результате сублимации водяного пара. Такой вид замерзающих осадков не представляет опасности, только если он не появился на остеклении кабины воздушного судна, так как из-за такого образования возникают трудности при визуальном обзоре [3].

1.2 Классификация ледяных отложений по их форме на поверхности воздушных судов

Ледяные отложения на бортах воздушных судов также имеют разные виды и текстуры, которые можно разделить на два вида:

1. Профильное отложение льда. Может возникнуть в облаках с малой водностью и при очень низких температурах, ниже -20°C . Отложение льда повторяет ту часть воздушного судна, на которой отложился и держится достаточно прочно. Он не так опасен, так как не сильно ухудшает аэродинамические качества и только увеличивает массу самолета.

2. Желобковый вид обледенения. Такой вид обледенения образуется в облаках с большой водностью, когда температура варьируется от -5°C до -8°C . Его особенностью является то, что такой вид обледенения наблюдается, когда на передней части крыла температура воздуха выше 0°C , а на остальной ниже 0°C и капли по своему размеру должны быть достаточно большие для такого образования. Капли не успевают сразу замерзнуть, растекаясь по поверхности крыла они замерзают на некотором расстоянии от передней кромки. Этот вид обледенения опасен для авиации, так как изменяется обтекаемая часть самолета, что существенно ухудшает аэродинамику [3].

2. УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЗАМЕРЗАЮЩИХ ОСАДКОВ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ОБЛЕДЕДЕНИЕМ

2.1 Метеорологические условия для образования замерзающих осадков

Температура воздуха является одним из важнейших факторов для образования замерзающих осадков. Температура поверхности земли должна быть в пределах от 0°C до -3°C , а температура на изобарической поверхности 850гПа от 5°C до -5°C . Дополнительным фактором может являться инверсия температуры в слоях атмосферы, которая сильно влияет на образование гололеда, а также адвекция тепла в приземном слое.

Влажность — это неотъемлемая часть в образовании осадков. Для того чтобы определить вид отложения определяют дефицит точки росы методом вычета из температуры воздуха температуру точки росы. К примеру, если температура воздуха от -10°C до 0°C , а разница между температурой точки росы и температурой воздуха менее 2°C , то вероятность того, что будет гололед возрастает, но надо заметить, что при такой же разнице, но температура ниже -10°C и выше 0°C гололед не образуется, поэтому во внимание также берется и температура, при которой возможно образование гололеда или изморози. Также она образуется в результате сублимации водяного пара.

Скорость ветра и его направление также влияют на образование замерзающих осадков. Когда наблюдается небольшая скорость ветра или его отсутствие (штиль) происходит точечный разогрев за счет выделения теплоты кристаллизации, которая мешает росту капель, но капли меньше испаряются и за счет этого появление осадков вполне вероятно. При ветрах с большей скоростью теплового обмена нет, а жидкие капли сдуваются с поверхности или же испаряются. Для образования замерзающих осадков также важно и направление ветра. Зависит это от рельефа. Для региона Архангельск чаще

всего южные и юго-восточные ветра при небольшом минусе температуры приносят замерзающие осадки [8].

2.2 Синоптические условия для образования замерзающих осадков

Замерзающие осадки и как следствие обледенения чаще всего встречаются в зоне атмосферных фронтов. В зоне теплого фронта обледенение на много интенсивнее, при этом все характеристики должны быть явными и четкими, от этого и зависит на сколько интенсивный гололед будет.

В зоне холодного фронта тоже появляется гололед, но чаще всего в зоне теплого воздуха. Интенсивность зависит от рода фронта. В холодных фронтах первого рода интенсивность гололеда слабая и даже не превышает умеренную. В холодных фронтах второго рода интенсивность сильная.

При фронтах окклюзии также могут быть ледяные отложения. Часто это явление наблюдается в точке окклюзии и в районе холодного фронта.

Обледенения могут быть как фронтальными, так и внутримассовыми. При наличии внутримассовой облачности в облаках кучево-дождевых и слоистых, а также при густых адвективных туманах. В кучево-дождевых облаках встречается умеренное или сильное обледенение, а в слоистых умеренное. Обычно встречаются гололедные явления на западных или восточных перифериях малоподвижных антициклонов, восточные и южные части циклонов или в теплом секторе подвижного циклона[3]. Наглядно об образовании замерзающих осадков можно посмотреть по рисунку 2.2:

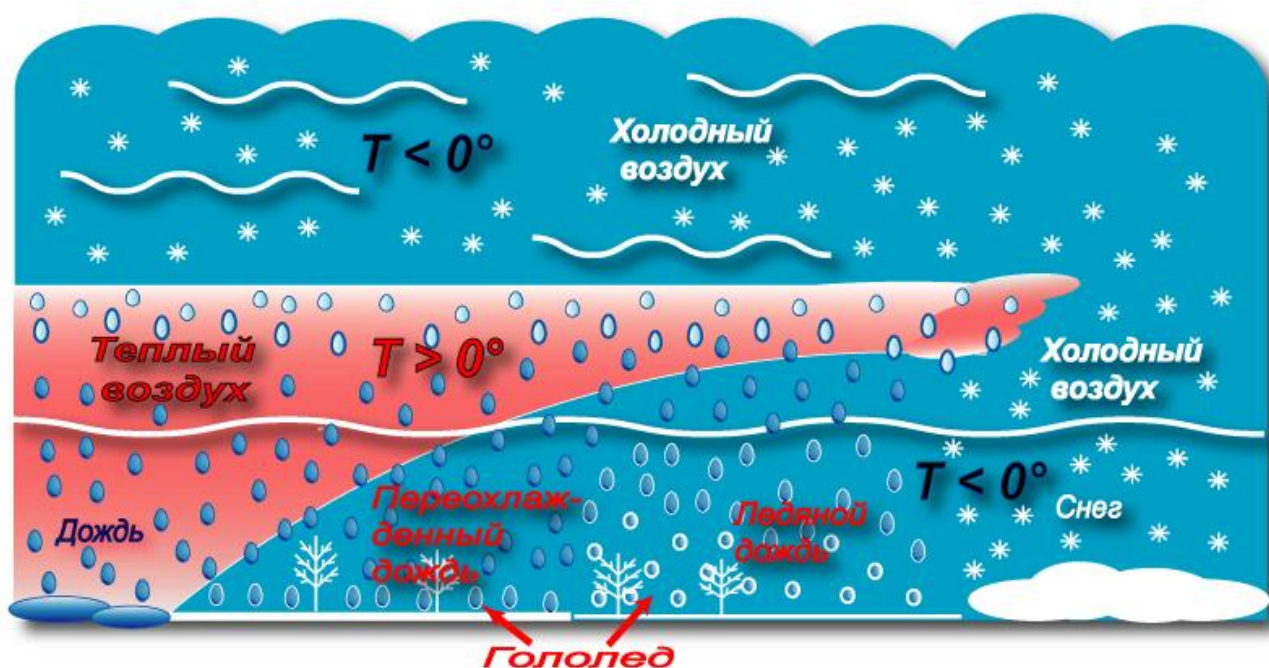


Рисунок 2.2 – Образование замерзающих осадков

2.3 Методы борьбы с обледенением

Существует три метода борьбы с гололедом на аэродромах: тепловой, механический и химический.

Для теплового метода используют специальный грузовик, чаще всего со списанным двигателем от самолета, потому что для тепловых машин не создают реактивные двигатели, и конечно же, крепится специальная рама, чтобы тепловая машина не взлетела. Тепловой способ основан на воздействии прямого потока тепла. Лед под воздействием высоких температур тает, превращаясь в воду, затем сдувается с поверхности. Тепловые машины могут быть использованы на жестких покрытиях аэродрома и на асфальтобетонных покрытиях. Скорость движения машин выбирается в зависимости от погодных условий и поверхности, делается это так, чтобы не было перегрева.

Механический способ используется в тех случаях, когда сцепление между льдом и поверхностью, где он образовался, мало. В данном случае используют снегоочистительные приборы, которые предназначены для удаления гололеда.

Химическим способом пользуются не только для того, чтобы удалить лед с поверхности, но и для того, чтобы он не образовывался. Минусом этого способа борьбы является то, что при температуре ниже -8°C он малоэффективен[3].

3. ДАННЫЕ О ЗАМЕРЗАЮЩИХ ОСАДКАХ НА АЭРОДРОМЕ ТАЛАГИ (Г. АРХАНГЕЛЬСК)

3.1 Физико-географическое описание и климатические особенности, способствующих возникновению гололедно-изморозевых отложений

Город Архангельск находится под влиянием умеренного климата, где зима продолжительная, а лето прохладное и короткое. Формирование такого климата происходит под воздействием северных морей и переносов воздушных масс с Атлантики. Для данного региона характерны полярный день и полярная ночь, так как местность располагается вблизи полярного круга. Рельеф местности также влияет на образование гололедно-изморозевых отложений. Рельеф города Архангельска преимущественно равнинный, местами есть холмистые участки и возвышенности.

По данным из доклада Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) выделяют очаги продолжительных аномалий (отклонений от нормы) в виде гололедных явлений [9]. Это говорит о том, в Архангельске благоприятные условия для продолжительных замерзающих осадков.

Резкие изменения погодных условий также сказываются на возникновении гололеда. Продолжительная зима и весна с часто колеблющейся температурой создают те условия, при которых появляются замерзающие осадки.

Замерзающий туман в Архангельске не редкость. Чаще всего его можно наблюдать с октября по апрель, в некоторых случаях и в сентябре при условиях температуры (-10...-15°C), благоприятной для такого явления. При замерзающем тумане возникает изморось. Антициклональная погода, когда ясное небо и слабый ветер, напрямую влияет на образование замерзающего

тумана, ведь в такую погоду происходит выхолаживание у поверхности земли, что приводит к замерзанию тумана [5].

3.2 Исходные данные и их упорядочение

Из архива данных по аэродрому Талаги с 2020 года по 2024 год были найдены случаи, когда наблюдались замерзающие осадки в виде дождя, мороси и замерзающего тумана. За этот период наблюдалось 80 замерзающих туманов, 43 замерзающей мороси и 16 случаев с замерзающим дождем. Ниже представлена общая таблица со всеми случаями за 5 лет:

Таблица 3.1 – Количество случаев замерзающих осадков за период 2020-2024 гг.

	Число случаев замерзающих осадков		
	Замерзающий туман	Замерзающая морось	Замерзающий дождь
2024	17	8	4
2023	14	6	3
2022	14	17	3
2021	21	4	3
2020	14	8	3
Всего случаев	80	43	16

Из таблицы 3.1 видно, что замерзающего дождя было меньше всего. Это связано с тем, что образование замерзающего дождя требует сложных метеорологических условий, а именно температурной инверсии и температуры ниже -10°C . Часто это явление можно встретить при переходных сезонах (весна/осень), так как в эти времена года погодные условия очень изменчивы. Для Архангельска чаще всего характерна замерзающая морось,

причина этому то, что для мороси не нужен строгий температурный режим, достаточно лишь слабого мороза от 0°C до -10°C, что часто можно встретить в данном регионе. Разница условий образования между замерзающим дождем и замерзающей моросью достаточно большая, ее пример представлен ниже в сводке фактической погоды METAR:

Таблица 3.2– Сообщение METAR за 12.12.2021 и 14.01.2023гг.

12/12/ 2021 05:00->	METAR ULAA 120500Z 17002MPS 130V210 9999 -FZRA BKN013 M12/M14 Q1028 R08/950550 NOSIG RMK QFE770/1027=
14/01/ 2023 06:30->	METAR ULAA 140630Z 18004MPS 150V210 8000 -FZDZ OVC006 M01/M01 Q1007 R08/590335 NOSIG RMK QBB180 QFE754/1006=

В данной таблице показаны два кода METAR за 12 декабря 2021 года, когда наблюдалось явление замерзающий дождь и за 14 января 2023 года, когда наблюдалась замерзающая морось. Этот код показывает, что когда наблюдался замерзающий дождь температура воздуха была -12°C, а при замерзающей мороси температура воздуха составляла -1°C.

Замерзающих туманов прослеживается в Архангельске довольно много. Дело в том, что в данном регионе существуют факторы, которые благоприятно влияют на появление данного явления. Река Северная Двина и Белое моря создают постоянный источник влаги. Долгая зима и слабые ветры не препятствуют, а наоборот создают те условия, при которых появляется замерзающий туман. Поэтому в Архангельске довольно часто встречаются туманы (рис. 3.3).

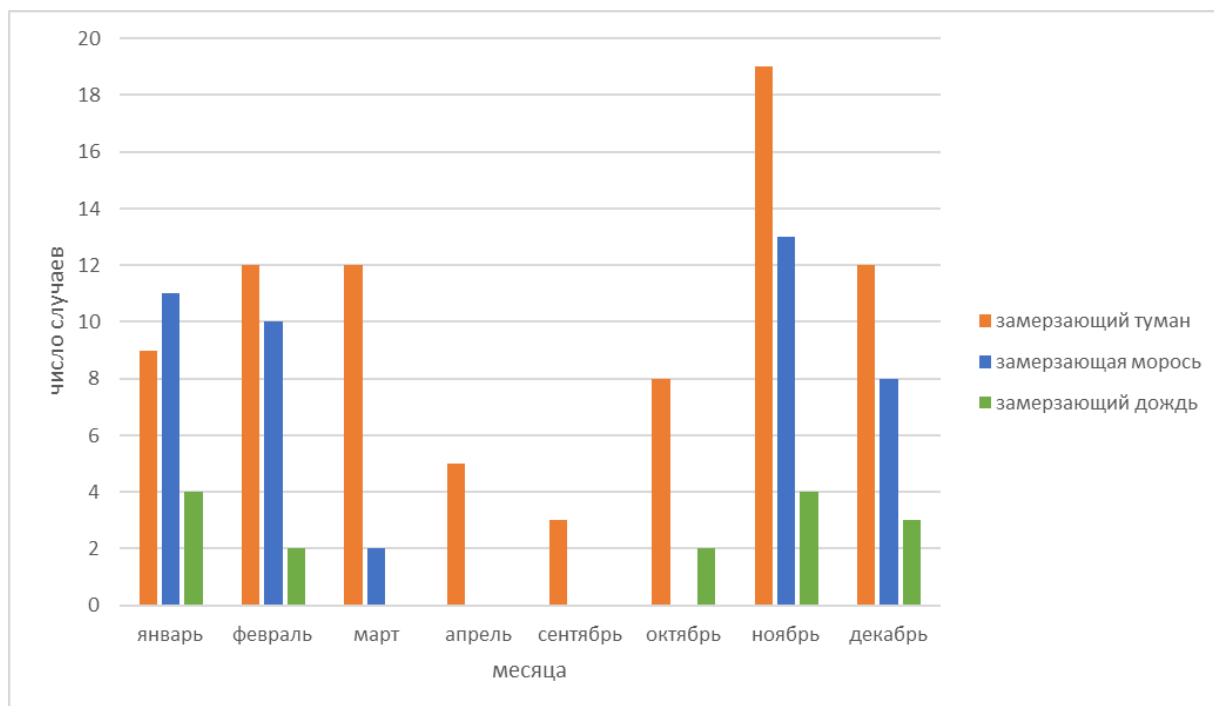


Рисунок 3.3 – Годовой ход случаев замерзающих осадков с 2020 по 2024гг.

Из гистограммы можно заметить частоту образования замерзающих туманов. Это связано с тем, что погодные условия в зимний, весенний и осенний период благоприятны для их образования.

Замерзающий дождь, довольно редкое явление для региона Архангельск, но тем не менее, чаще всего за 5 лет он наблюдался в такие месяцы как ноябрь, декабрь и январь, реже в феврале и октябре.

Наиболее характерны для аэродрома Талаги замерзающие осадки в виде мороси. Для них благоприятными месяцами являются ноябрь, декабрь, январь и февраль, реже в марте. Как говорилось выше, это связано с тем, что для мороси не нужны сложные температурные перепады, как для замерзающего

дождя, важно лишь то, чтобы был слабый мороз. Для более подробного анализа случаи с замерзающими осадками и замерзающими туманами были представлены отдельно за каждый год (2020, 2021, 2022, 2023 и 2024 гг.) в виде гистограмм (рис. 3.4-3.8):

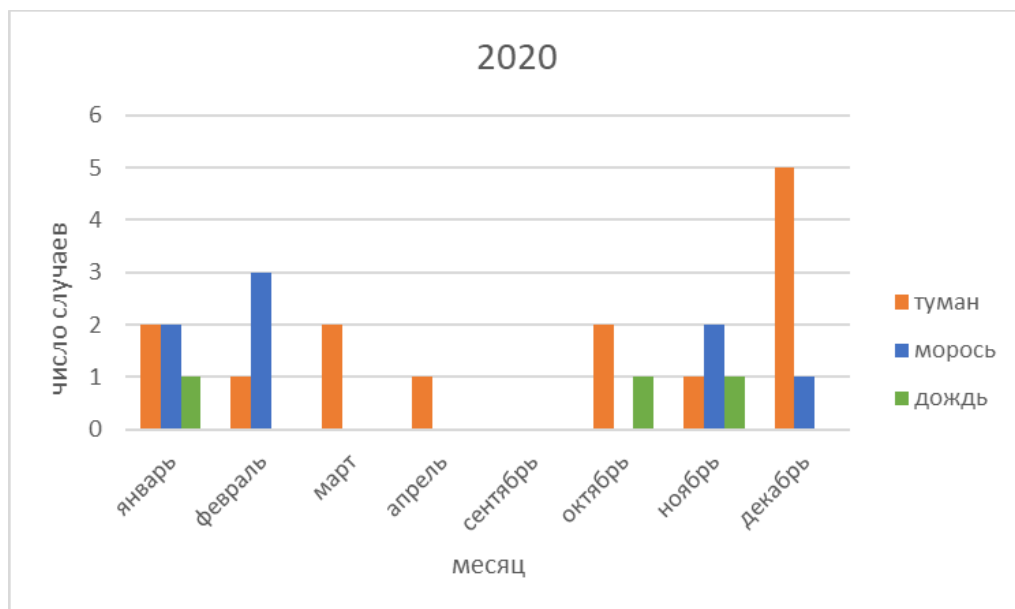


Рисунок 3.4 – Количество случаев замерзающих осадков за 2020 год

По рисунку 3.4 видно, что замерзающих осадков в виде дождя было меньше всего (по одному случаю в январе, октябре и ноябре), мороси было в разы больше, а именно в холодные месяцы (январь, февраль, ноябрь, декабрь). Туманы наблюдались на протяжении всего периода, в декабре их наблюдалось больше всего.

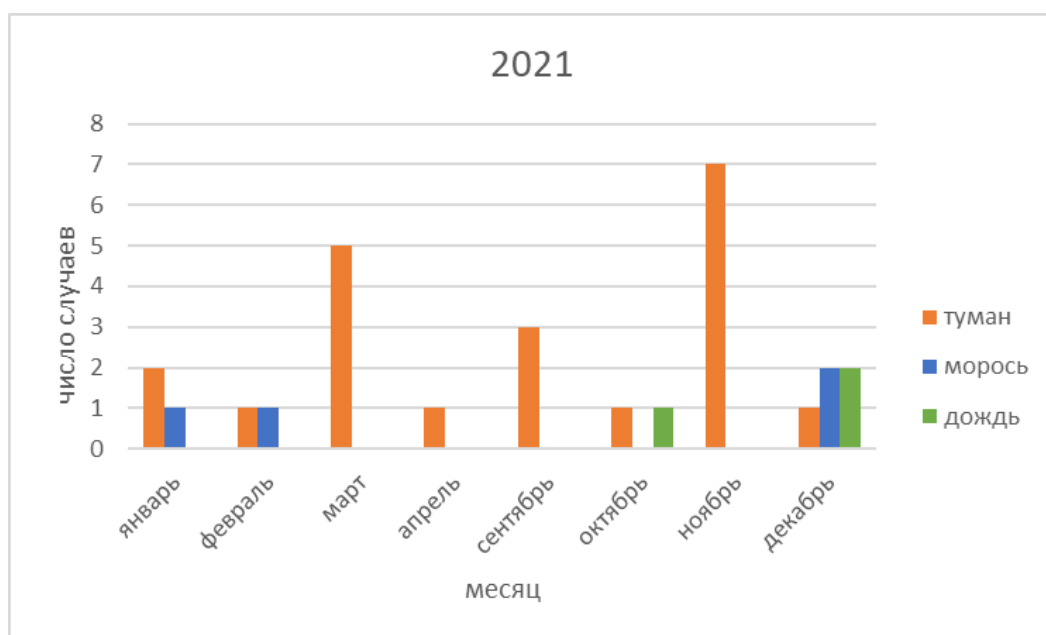


Рисунок 3.5 – Количество случаев замерзающих осадков за 2021 год

В 2021 году замерзающих осадков было гораздо меньше, сравнивая с 2020 годом. Замерзающая морось наблюдалась только в зимние месяцы, а замерзающего дождя было всего 3 случая за год: в октябре и декабре. Количество случаев с замерзающими туманами, по сравнению с замерзающими осадками, преобладает. Это явление наблюдалось в каждый месяц данного периода, больше всего случаев пришлось на такие месяцы как ноябрь и март.

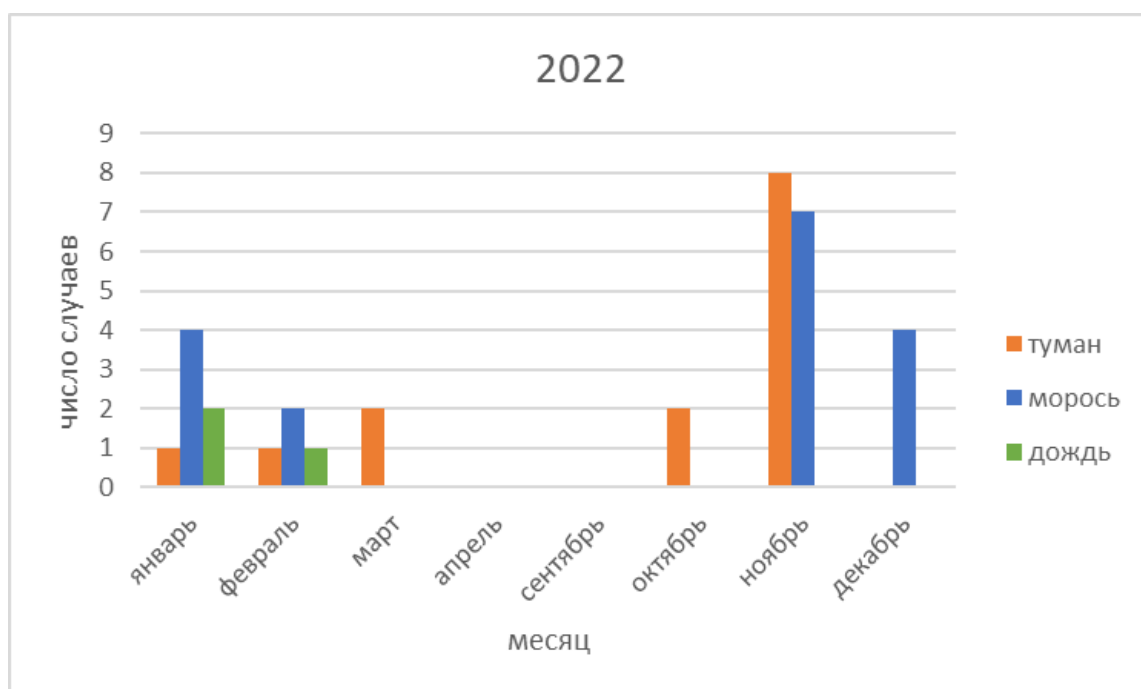


Рисунок 3.6 – Количество случаев замерзающих осадков за 2022 год

По гистограмме за 2022 год наблюдалось большее количество замерзающей мороси, по сравнению с предыдущими годами. Самым богатым месяцем на такое явление оказался ноябрь, так как за этот период случаев с моросью было 7. Чуть меньше замерзающей мороси было в декабре и январе (4 случая) и в феврале всего 2 случая. Замерзающий дождь наблюдался в январе и феврале и за год это явление происходило всего 3 раза. Замерзающих туманов в 2022 году было сравнительно меньше, чем в прошлых годах. Это явление не наблюдалось в апреле, сентябре и декабре, зато в ноябре случаев с туманами было 8.

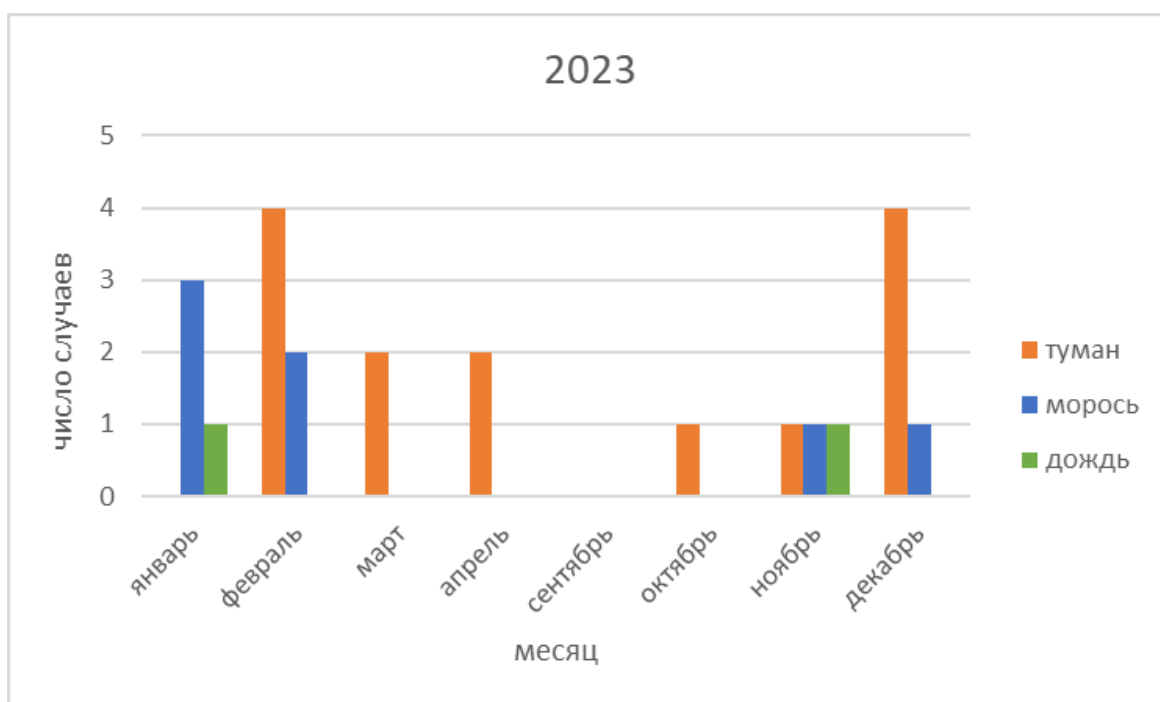


Рисунок 3.7 – Количество случаев замерзающих осадков за 2023 год

В 2023 году случаев с замерзающими осадками было не так много. Морось наблюдалась с ноября по февраль месяц, больше всего случаев с моросью было в январе (3 случая). Замерзающего дождя было всего 2 случая, которые пришлись на январь и ноябрь. Замерзающий туман наблюдался во всем периоде, но больше всего это явление наблюдалось в декабре и феврале (4 случая)

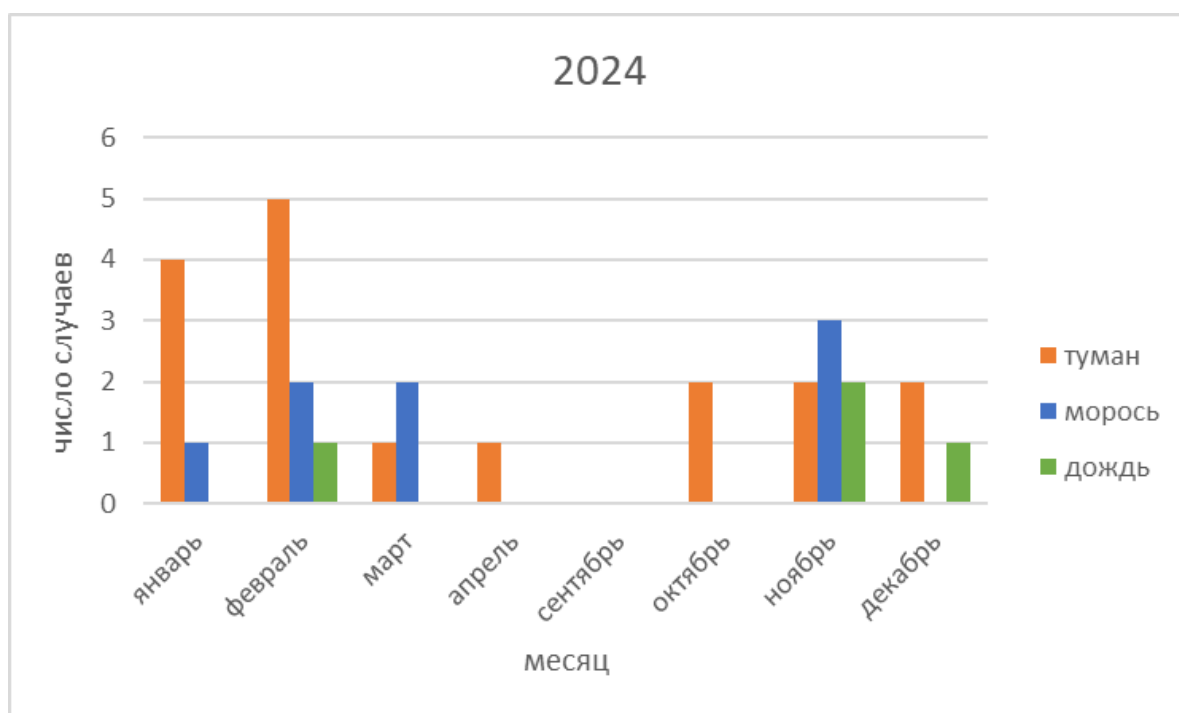


Рисунок 3.8 – Количество случаев замерзающих осадков за 2024 год

Анализируя гистограмму за 2024 год, можно увидеть, что замерзающей мороси и замерзающего дождя было больше всего, по сравнению с предыдущими описанными годами. Морось наблюдалась с января по март и в ноябре, а дождь в ноябре, декабре и феврале. Замерзающие туманы были замечены с октября месяца по апрель, а больше всего случаев было в феврале (5 случаев).

Проанализировав гистограммы отдельно за каждый год, получилось, что 2022 год был самым дождливым, ведь осадков в виде мороси случилось 17 раз, а в виде дождя 3. Для замерзающих туманов самым благоприятным годом стал 2021. В этот год случаев с туманами было 17 раз.

3.3 Условия образования замерзающих осадков и обзор синоптических ситуаций.

Формирование замерзающих осадков требует не только сложных температурных инверсий и слабо низких температур. На это явление также

влияют барические образования и их погода. В условиях Архангельска, расположенного в зоне активной циклонической деятельности на границе взаимодействия морских и континентальных воздушных масс, замерзающие осадки наблюдаются в переходные сезоны и зимний период.

Как уже было сказано выше, основным механизмом образования замерзающих осадков является наличие инверсионного распределения температуры в атмосферном столбе, или же мало-отрицательной температуры во всей толще атмосферы. Для подробного анализа был создан диапазон температур у поверхности земли через каждые 2 градуса. Все случаи замерзающих осадков за обозреваемые 5 лет были распределены по этим диапазонам (рис. 3.9).

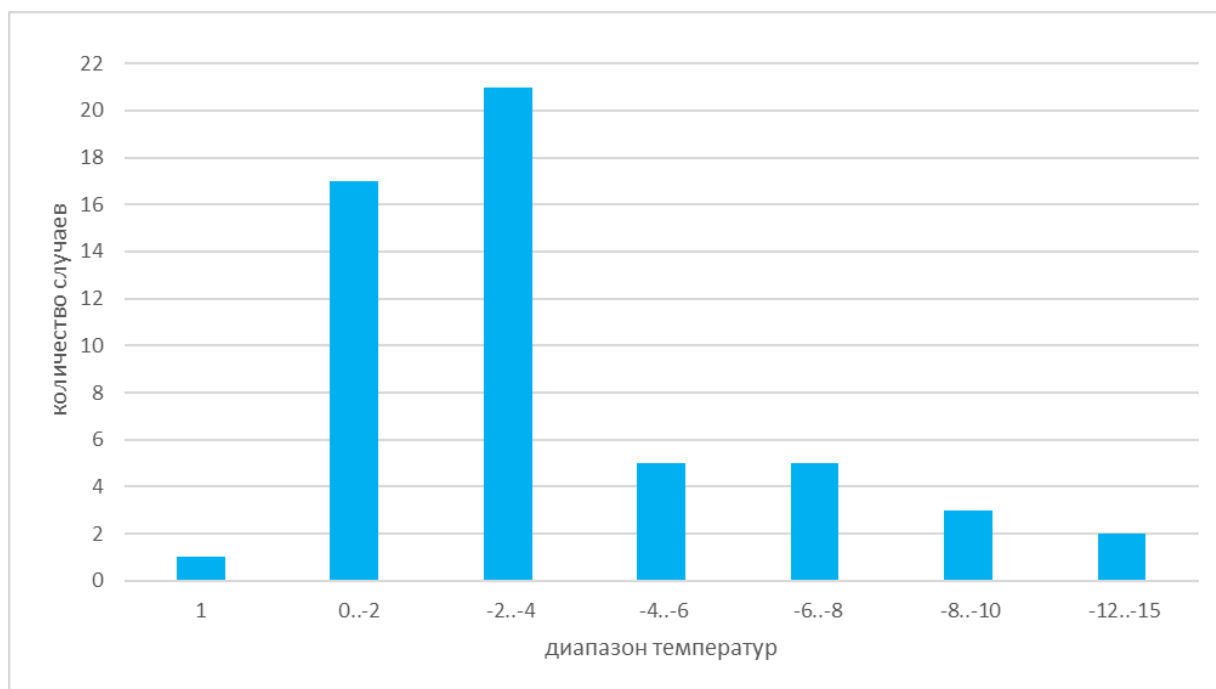


Рисунок 3.9 – Распределение случаев замерзающих осадков по температуре

По данным распределения температур можно заметить, что образование замерзающих осадков чаще всего происходит в температурном диапазоне от 0°C до -4°C. Реже от -6°C до -8°C. По одному-два случая наблюдались замерзающие осадки в температурном диапазоне +1°C и от -12°C до -15°C.

Термическая структура формируется под влиянием определенных барических образований, среди которых наиболее значимыми являются

атлантические циклоны, перемещающиеся по траектории, Исландия-Баренцево море-Карское море. При прохождении теплого сектора этих циклонов наблюдается интенсивная адвекция теплого и влажного морского воздуха с Атлантики, который в средней тропосфере создаёт положительные температуры, в то время как у поверхности сохраняется холодный арктический воздух. В результате осадки, формирующиеся в верхних теплых слоях проходят через холодный приземный слой, не успевая замерзнуть, и выпадают в виде переохлажденного дождя, образуя гололед. Особую опасность представляют окклюдированные циклоны, которые характеризуются сложной пространственной структурой и продолжительным временем воздействия. В таких системах теплый воздух поднимается вверх, образуя выраженную инверсию температуры, а у земли сохраняется устойчивый холодный воздух. Осадки в большинстве случаев при такой ситуации выпадают из слоисто-дождевых облаков и часто в виде замерзающей мороси.

Значительную роль играет антициклон, при котором возможно выпадение замерзающих осадков. Это довольно частый случай для региона Архангельск. Осадки в антициклоне могут быть связаны с его перифериями. В центре облачность и осадки бывают крайне редко, в основном на перифериях. Восточная периферия может быть связана с близким циклоном, от которого простираются как облачность, так и размытые фронты. Также бывают случаи, когда передняя часть циклона соседствует с западной периферией антициклона и там тоже могут быть фронтальные системы и, как следствие, осадки. Существует так называемый гнилой угол на северо-западной периферии, туда чаще всего дотягиваются фронты окклюзии.

На формирование замерзающих осадков большое влияние оказывают стационарирующие циклоны над Баренцевым морем, которые при наличии блокирующего антициклона над Сибирью или Европой могут длительное время оставаться квазистационарными. Такая синоптическая ситуация приводит к продолжительной адвекции теплого и влажного воздуха и

выпадению затяжных осадков в виде переохлажденного дождя или смеси снега с дождем. При этом периодические подтоки тепла в средней тропосфере усиливают процессы гололедообразования [8].

При помощи синоптических карт для анализа барических образований, при которых чаще всего возникают замерзающие осадки были составлены круговые диаграммы (рис.3.10-3.14):

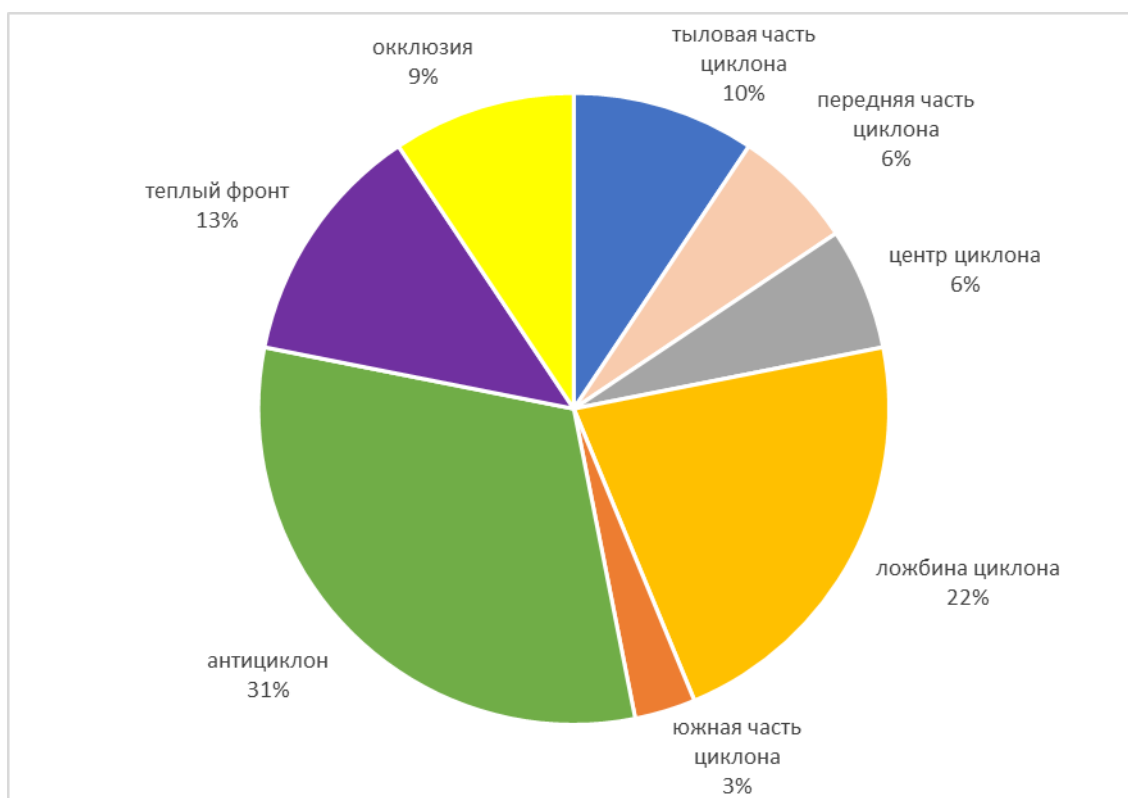


Рисунок 3.10 – Синоптические ситуации за 2021 год

Представленные статистические данные за 2021 год демонстрируют четкую зависимость между частотой возникновения замерзающих осадков и типами барических образований, что позволяет сделать ряд важных выводов о синоптических условиях, способствующих данному опасному явлению. Анализ диаграммы показывает неравномерное распределение случаев образования замерзающих осадков по различным синоптическим ситуациям, что отражает специфику атмосферных процессов в регионе. Больше всего случаев замерзающих осадков связаны с антициклональными условиями (31 %), так как при антициклональной погоде наблюдается интенсивное

радиационное выхолаживание приземного слоя воздуха. Также антициклон может создавать инверсионные ситуации. Второе место по частоте занимают случаи, связанные с ложбинами циклонов. Ложбины как барические образования представляют собой вытянутые области пониженного давления, где особенно активно происходят процессы адвекции теплого воздуха. Случаев с ложбинами было 22%. Теплые фронты, несмотря на их связь с механизмами образования замерзающих осадков в 2021 году стали причиной лишь для 13% случаев, что можно объяснить особенностями годового распределения циклонов или изменением их траектории.

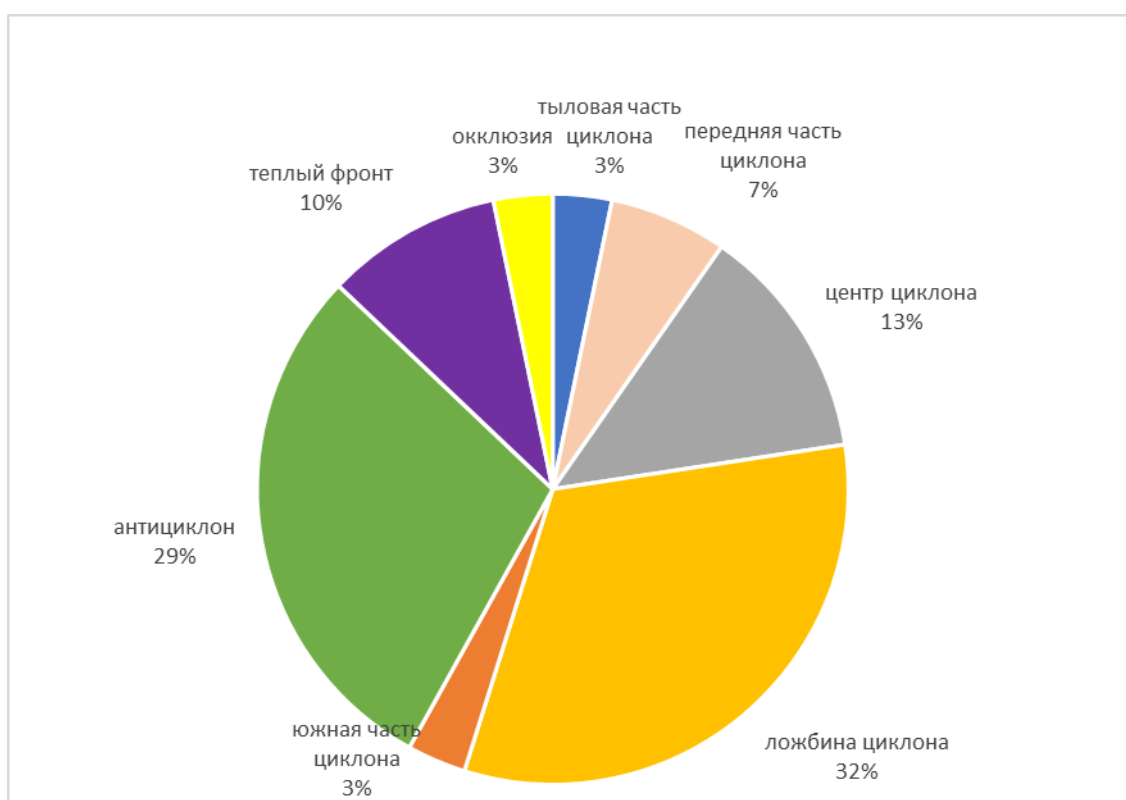


Рисунок 3.11 – Синоптические ситуации за 2022 год

Данные за 2022 год показывают существенные изменения в распределении случаев образования замерзающих осадков по сравнению с предыдущим годом. В этом году большее влияние оказали ложбины циклонов (32%). Антициклональные условия показали некоторое снижение и теперь процент их влияния составляет 29%. При этом периферийные фронтальные разделы антициклонов часто становились источниками слабых, но опасных

для авиации осадков. Центры циклонов проявили себя как более значимый фактор, по сравнению с 2021 годом (13%). Это может быть связано с изменением траектории циклонов. В этой части циклонов наблюдались интенсивные восходящие движения, которые при определенных условиях приводили к образованию замерзающих осадков. Теплые фронты показали незначительное снижение (10%).

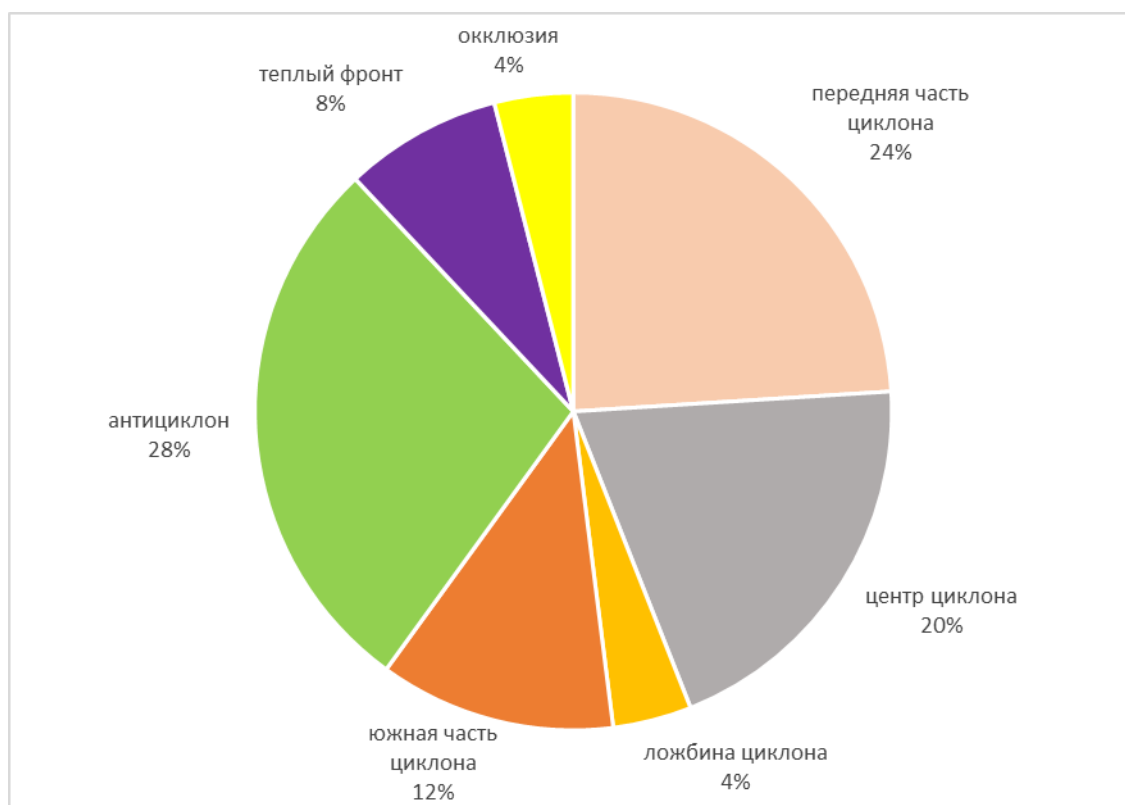


Рисунок 3.12 – Синоптические ситуации за 2023 год

В 2023 году картина с замерзающими осадками заметно изменилась по сравнению с предыдущими годами. Антициклоны снова оказались главной причиной (28% случаев), также большое влияние оказала передняя часть циклона (24%). Обычно при таких условиях чаще всего выпадает снег, но в 2023 году сложились условия, когда теплый воздух в верхних слоях вызывал дождь, который замерзал у земли. Более активными стали центры циклонов (20%). Возможно, циклоны стали более глубже и в их центре чаще создавались условия для замерзающих осадков. Южные части циклонов также проявили активность. Обычно здесь тепло, но в 2023 году холодный воздух чаще

задерживался у поверхности земли. Теплых фронтов оказалось всего 8%. Скорее всего это связано с тем, что фронты проходили быстрее или температура в них, была выше.

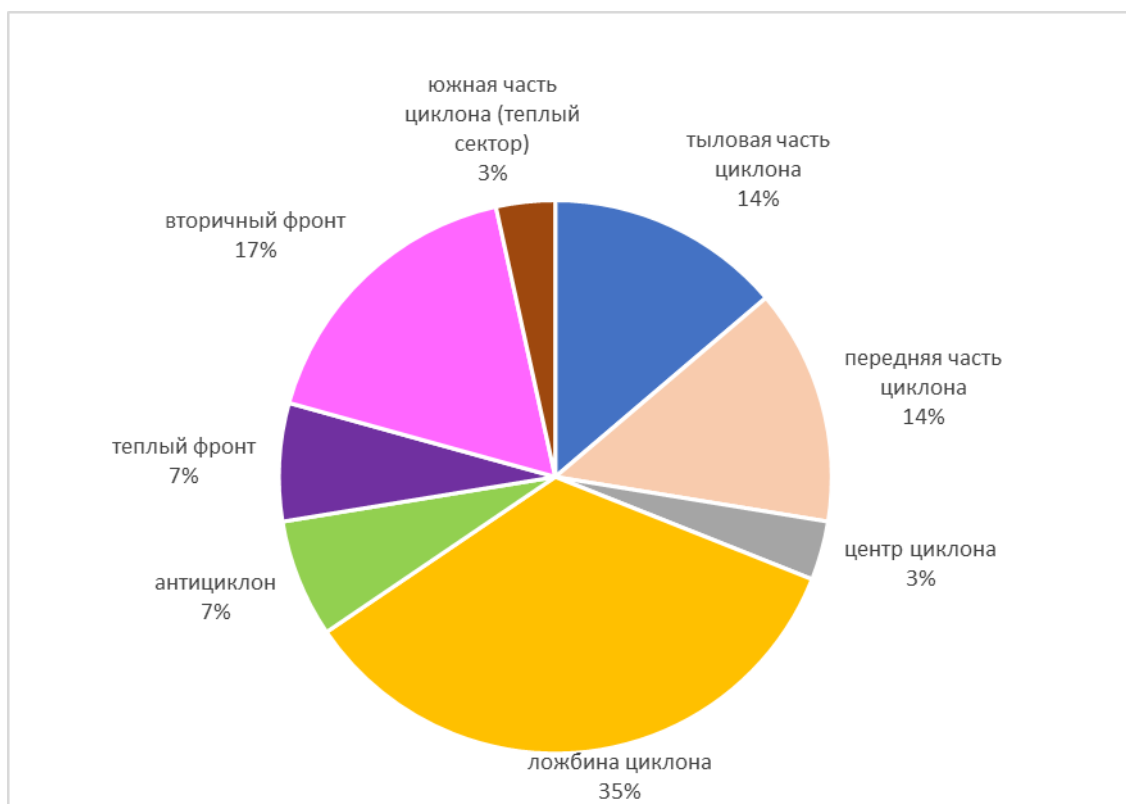


Рисунок 3.13 - Синоптические ситуации за 2024 год

В 2024 году статистика возникновения замерзающих осадков изменилась. Ложбины циклонов (35%) внесли самый большой вклад в образования этого явления. В них были созданы идеальные условия, при которых теплый влажный воздух натекал на холодный у поверхности. Вторичные фронты (17%) по сравнению с предыдущими годами стали чаще приносить затяжные переохлажденные осадки, образующие гололед. Тыловые и передние части циклонов дали по 14% случаев. В тылу циклонов холодный воздух создавал условия для обледенения, а в передних частях чаще наблюдались смешанные осадки. Теплый сектор циклона и центр циклона оказались малозначимыми (3%), что говорит о том, что в 2024 году основные области циклонов реже создавали условия для замерзающих осадков. А вот

теплые фронты и антициклоны оказали малое влияние по сравнению с прошлыми годами.



Рисунок 3.14 – Синоптические ситуации с 2021 по 2024 гг.

На протяжении четырехлетнего периода за метеорологическими условиями в районе аэродрома Талаги выявлена сложная динамика изменения преобладающих барических образований, вызывающих замерзающие осадки. Анализ всех полученных данных показывает, что антициклональные условия и ложбины циклонов стали главными факторами, при которых образуются замерзающие осадки (по 24 %). Антициклоны, особенно в зимний период, создавали устойчивые инверсионные ситуации с интенсивным выхолаживанием приземного слоя воздуха, а также мало морозную погоду. В то время как ложбины обеспечивали продолжительную адвекцию теплого влажного воздуха

Передние части циклонов с показателем 12% показали устойчивую значимость на протяжении всего периода наблюдений. В этих зонах часто наблюдалось сложное взаимодействие воздушных масс, приводящее к образованию слоистых облаков и выпадению обложных осадков. Центры циклонов, несмотря на относительно малые 10%, представляли особую опасность при глубоких циклонических образованиях, когда интенсивные

восходящие потоки создавали мощную облачность с продолжительными осадками.

Теплые фронты составили лишь 9% случаев несмотря на то, что они являются основным фактором в образовании замерзающих осадков. Теплый сектор циклона показал еще меньшую значимость (6%), что соответствует теоретическим представлениям о преобладании в этой зоне положительных температур у поверхности. Тыловые части циклонов (7%) и окклюдированные фронты (4%) продемонстрировали относительно стабильные, но невысокие показатели. Вторичные фронты лишь в 2024 году показали резко увеличившуюся значимость.

Годовая динамика выявила заметные изменения в преобладающих синоптических ситуациях. В 2021-2022 годах доминировали антициклональные условия, тогда как в 2023 году резко возросла роль передних частей циклонов, а в 2024- ложбин циклонов и вторичных фронтов. Такая изменчивость может быть связана с колебаниями температуры поверхности Баренцева моря, изменением траекторий атлантических циклонов, перестройкой атмосферных процессов в Арктическом регионе и влиянием глобальных климатических изменений.

3.4 Обзор отдельных случаев синоптических ситуаций



Рисунок 3.15 – Синоптическая ситуация за 3 февраля 2024 года

Город Архангельск в этот день был под действием ложбины циклона. Температура воздуха в этот день варьировалась от -5°C до -7°C . Наблюдалась замерзающая морось и длилось явление с 05:30 до 23:30.

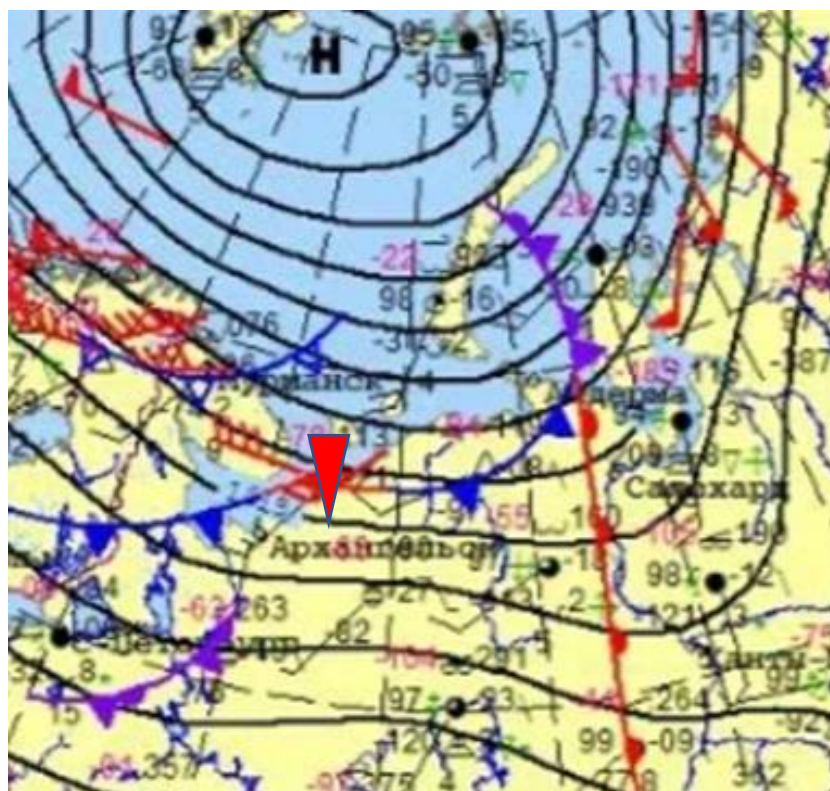


Рисунок 3.16 – Синоптическая ситуация за 24 января 2023 года

Архангельск в этот день относительно циклона находился в его южной части, также город попал под влияние холодного фронта. Температура изменялась от -3 до -4 градусов Цельсия. Замерзающая морось продолжалась с 15:30 до 17:00.

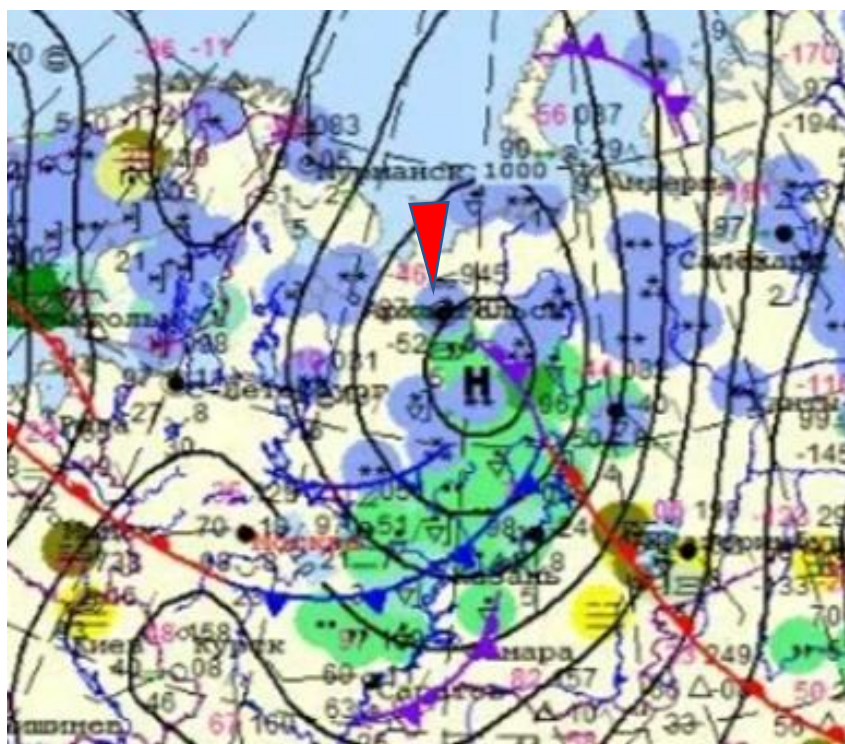


Рисунок 3.17 – Синоптическая ситуация за 2 ноября 2023 года

Центр циклона расположился над Архангельском, явление замерзающая морось длилась 30 минут, а температура -3 градуса Цельсия.

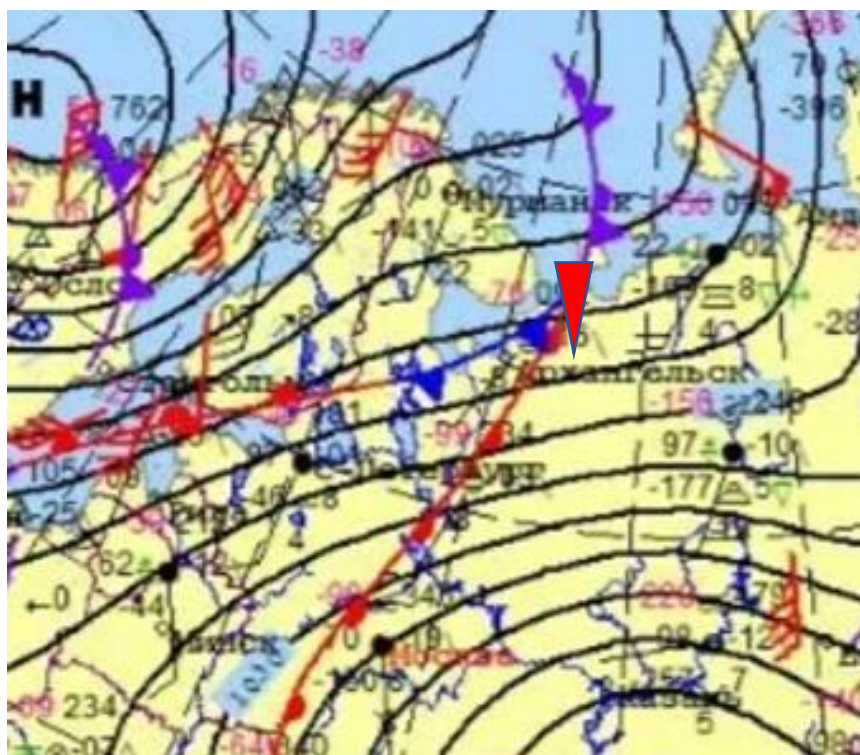


Рисунок 3.18 – Синоптическая ситуация за 11 января 2023 года

Передняя часть циклона и теплый сектор был в этот день над Архангельском, температура была -2 градуса Цельсия, а явление морось продолжалось 30 минут.



Рисунок 3.19 – Синоптическая ситуация за 5 ноября 2022 года

В этот день Архангельск попал под влияние антициклона, наблюдалась замерзающая морось продолжительность с 21:30 до 03:30, температура была - 1 -2 градуса Цельсия.

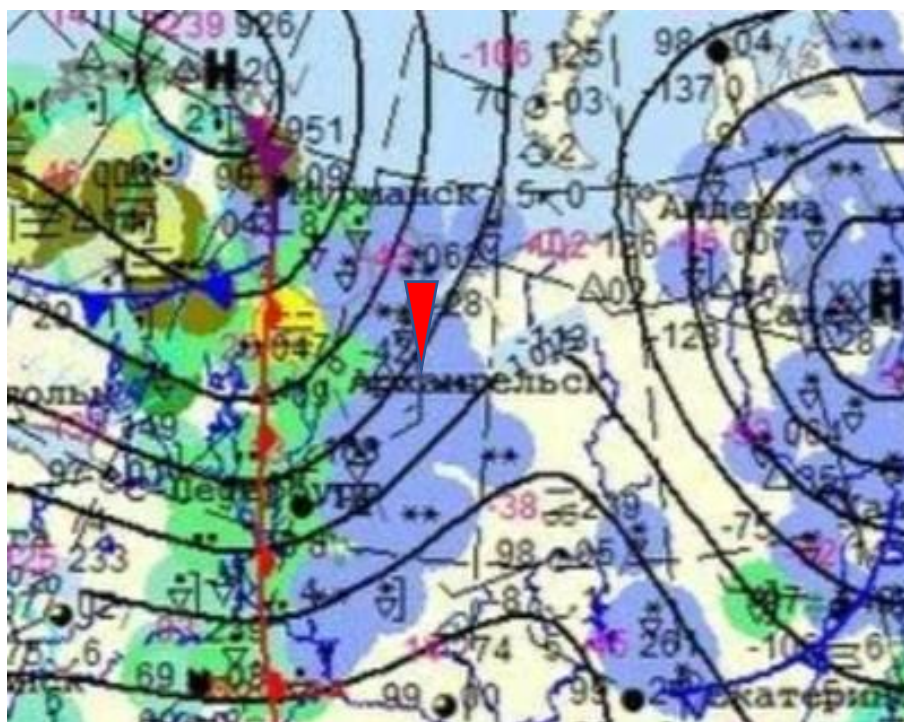


Рисунок 3.20 – Синоптическая ситуация за 29 октября 2021 года

Архангельск попал под влияние теплого фронта, который настиг его уже к 12:00, явление замерзающий дождь продолжалось с 06:30 до 10:00, температура менялась от -1 до -3 градусов Цельсия.

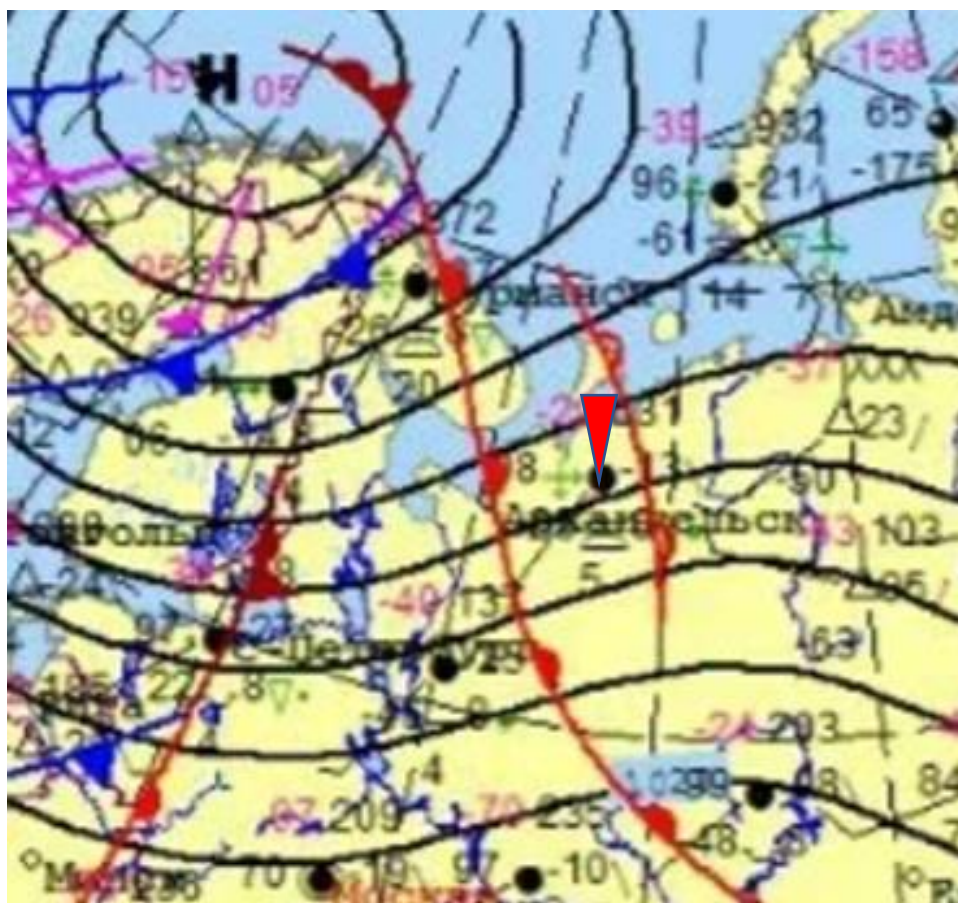


Рисунок 3.21 – Синоптическая ситуация за 29 декабря 2024 года

Архангельск попал под влияние вторичного фронта, замерзающий дождь длился 30 минут, а температура была 0 градусов Цельсия.

4. МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАМЕРЗАЮЩИХ ОСАДКОВ

4.1 Метод прогнозирования Р.А. Ягудина

Для прогнозирования замерзающих осадков при помощи метода Р.А. Ягудина используется нанограмма, по которой можно определить будет ли данное явление и его интенсивность. Для этого нужна температура у поверхности земли и на высоте 850 гПа (рис.4.1).

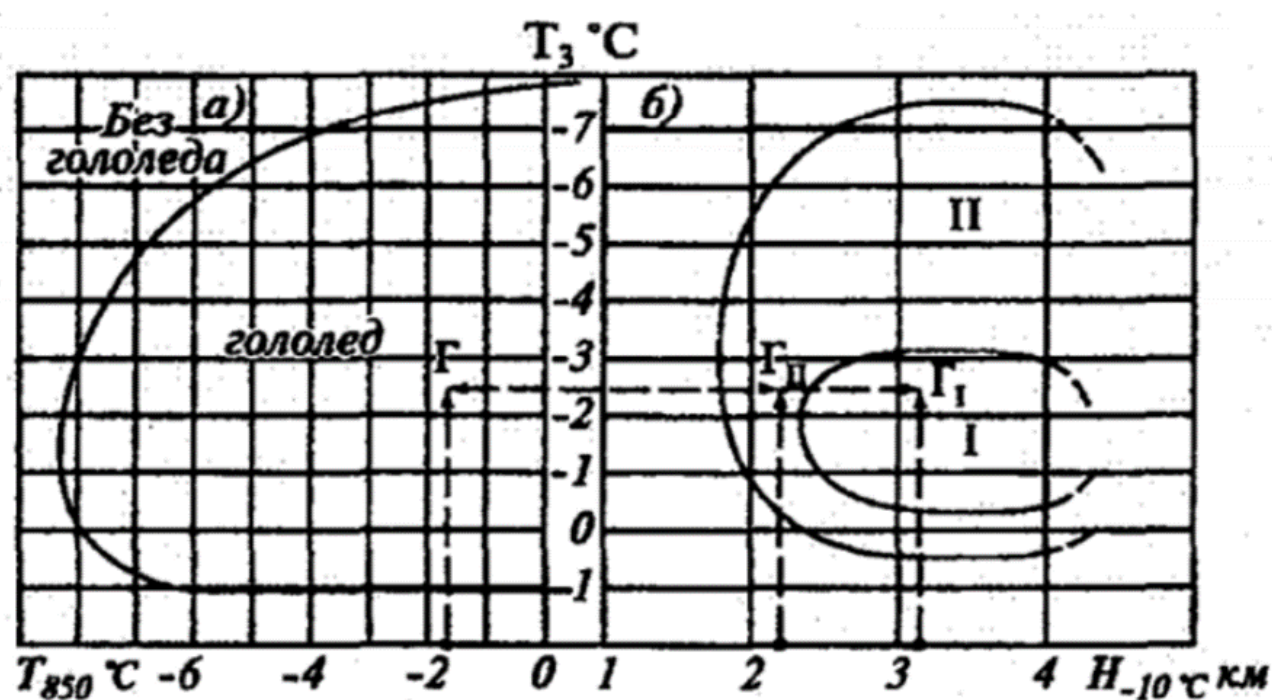


Рисунок 4.1 – Нанограмма для метода прогнозирования замерзающих осадков Ягудина.

Для проведения расчетных работ все случаи замерзающих осадков с 2020 по 2024 гг. и температура у земли и на высоте были занесены в таблицу 4.2:

Таблица 4.2 – Таблица для прогнозирования замерзающих осадков по методу Ягудина

год	случаи замерзающих осадков	температура у поверхности земли	температура на уровне 850 гПа	явление по методу Ягудина
2024	28/01/2024 16:30->	-2	-1,9	есть
	01/02/2024 03:00->	-1	-1,9	есть
	03/02/2024 05:30->	-7	-9,9	нет
	03/03/2024 04:30->	0	0	есть
	06/03/2024 05:30->	-4	-5,5	есть
	05/11/2024 08:25->	-3	-7,1	есть
	12/11/2024 04:45->	0	-0,3	есть
	13/11/2024 00:00->	0	0,4	есть
	16/11/2024 07:24->	-1	-4,7	есть
	25/11/2024 14:06->	0	-6,9	есть
	29/12/2024 11:37->	-1	-4,3	есть
2023	11/01/2023 18:00->	-3	-7,3	есть
	14/01/2023 06:30->	-1	-5,5	есть
	19/01/2023 03:00->	-2	-3,5	есть
	24/01/2023 15:30->	-5	-5,9	есть
	04/02/2023 17:30->	-6	-13,9	нет
	07/02/2023 04:00->	-7	-7,5	нет
	02/11/2023 21:00->	-3	-4,5	есть
	05/11/2023 03:00->	-3	4,4	?
2022	21/12/2023 11:00->	-3	-11,3	нет
	06/01/2022 08:00->	-9	-8,1	нет
	13/01/2022 09:30->	-6	-6,9	нет
	14/01/2022 06:00->	-3	-9,5	нет
	16/01/2022 17:00->	-8	-11,7	нет
	27/01/2022 07:00->	-10	-11,9	нет
	11/02/2022 15:00->	-2	-12,1	нет
	12/02/2022 06:30->	-3	-10,7	нет
	14/02/2022 12:30->	-4	-5,9	есть
	01/11/2022 15:30->	0	-4,3	есть
	04/11/2022 21:30->	-3	-3,3	есть
	05/11/2022 03:30->	-2	-3,3	есть
	18/11/2022 06:30->	-5	-6,7	есть
	21/11/2022 02:30->	-4	-3,9	есть
	28/11/2022 08:00->	-12	-2,5	нет
	29/11/2022 19:00->	-3	-1,9	есть
	13/12/2022 20:30->	-8	-8,9	нет
	14/12/2022 09:00->	-1	-8,9	нет
2021	21/12/2022 16:30->	-8	-9,7	нет
	22/12/2022 07:30->	-6	-5,3	есть
	02/01/2021 20:00->	-4	-7,3	нет
	28/02/2021 03:30->	-3	-12,1	нет
	29/10/2021 06:30->	-3	-11,1	нет
	12/12/2021 05:00->	-15	-2,3	нет
2020	14/12/2021 09:00->	-4	-11,1	нет
	31/12/2021 19:30->	-9	-9,3	нет
	12/01/2020 03:00->	-3	-5,1	есть
	21/01/2020 01:30->	-2	-3,5	есть
	08/02/2020 12:30->	-8	-9,3	нет
	09/02/2020 03:30->	-4	-2,7	есть
	21/02/2020 11:00->	-4	-8,9	нет
	26/10/2020 17:00->	-1	-1,7	есть
	12/11/2020 20:30->	1	-0,5	есть
	18/11/2020 09:00->	-1	-1,3	есть
	30/11/2020 15:30->	-3	-6,3	есть
	20/12/2020 07:00->	-4	-3,5	есть

Рассмотрев каждый случай, выяснилось, что для аэродрома Талаги этот метод прогнозирования можно использовать в качестве дополнительного метода. Из 54 случаев 31 из них удалось спрогнозировать верно, 23 не удалось из-за того, что температура у земли и на высоте 850 гПа могла быть ниже -7°C из-за чего метод Ягудина не работал, хотя явление наблюдалось.

Поработав с методом прогнозирования замерзающих осадков Ягудина, можно сделать вывод, что метод очень удобен для использования, так как он наглядно показывает будет явление или нет, но минусом является то, что метод не учитывает другие факторы атмосферы, из-за которых могут образоваться замерзающие осадки, а учитывает лишь температуру по высотам.

4.2 Другие методы прогнозирования замерзающих осадков

Помимо классического метода Ягудина, так же существует и основной метод прогнозирования замерзающих осадков-синоптический. Для этого метода используется уже ряд инструментов в виде синоптических карт и анализа температур по высотам. Данный метод учитывает множество факторов, благодаря которым процент ошибки существенно понижается, по сравнению с методом Ягудина. Также данный метод является основным методом прогнозирования на аэродроме Талаги.

Существуют также и ряд других методов прогнозирования замерзающих осадков, каждый из которых имеет свои особенности и область применения. Эти методы можно условно разделить на несколько групп в зависимости от используемых подходов и технологий.

Радиолокационные методы занимают важное место в прогнозировании замерзающих осадков. Современные метеорологические радиолокаторы, работающие в различных диапазонах частот, позволяют не только обнаруживать зоны осадков, но и определять их фазовое состояние. Особенно эффективным является метод двойной поляризации, при котором

анализируется разница в отражении радиоволн с горизонтальной и вертикальной поляризацией. Этот подход позволяет четко дифференцировать дождь, снег, ледяную крупу и переохлажденные осадки. Доплеровские радиолокаторы дополнительно предоставляют информацию о вертикальных движениях в облаках, что крайне важно для понимания процессов фазовых переходов осадков. Важным преимуществом радиолокационных методов является их высокая пространственная и временная разрешающая способность, позволяющая отслеживать развитие опасных явлений.

Спутниковые методы прогнозирования основаны на анализе данных многоканальных радиометров, установленных на метеорологических спутниках. Инфракрасные и микроволновые каналы особенно полезны для выявления структур облачных систем, способных давать замерзающие осадки. Данная методика предполагает анализ вертикальных профилей температуры по данным микроволнового зондирования, что позволяет выявлять характерные температурные инверсии, предшествующие образованию Переохлажденного дождя. Современные спутниковые системы обладают достаточным разрешением для прогнозирования даже локальных зон замерзающих осадков. Также спутниковые системы помогают для прогнозирования в отдаленных местах, где отсутствует развитая сеть наземных наблюдений.

Численные методы прогнозирования представляют собой технологический подход, основанный на решении сложных систем уравнений, описывающих атмосферные процессы. Современные мезомасштабные модели включают специализированные параметризации микрофизических процессов в облаках, позволяющие прогнозировать фазовое состояние осадков. Эти модели используют данные радиолокаторов, что значительно повышает точность прогнозов.

Статистические методы занимают особо важное место в прогнозировании замерзающих осадков. Эти подходы основаны на анализе

больших массивов исторических данных о погодных условиях, предшествовавших случаям обледенения [5].

Каждый из перечисленных методов имеет свои преимущества и ограничения. На практике наиболее эффективным оказывается комплексный подход, сочетающий несколько методов одновременно. Например, численные модели обеспечивают фоновый прогноз, радиолокационные данные дают информацию о текущей ситуации, а термодинамические индексы позволяют оперативно оценить степень опасности. Такая интеграция различных подходов значительно повышает надежность прогнозов замерзающих осадков, что особенно важно для обеспечения безопасности в авиации, энергетике и других отраслях, чувствительных к этому опасному явлению погоды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прогнозирование замерзающих осадков очень важно для авиации и обеспечения безопасности на аэродромах. В данной работе были рассмотрены условия, при которых чаще всего на аэродроме Талаги могут образовываться замерзающие осадки.

Создан архив данных по замерзающим осадкам на аэродроме Талаги за период с 2020 по 2024гг. Замерзающие осадки чаще всего в переходные и зимние сезоны (указать пики, в какие месяцы чаще всего)

Проанализировав полученные данные, можно заметить, что гололед образуется чаще всего в температурном диапазоне от 0°C до -4°C . В переходные и зимние периоды.

Такие барические образования, как периферии антициклонов и ложбины чаще всего в переходные сезоны и зимний период чаще всего (по 24%) способствуют образованию гололеда на аэродроме Талаги.

В качестве метода прогнозирования был рассмотрен метод Р.А. Ягудина. Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что в качестве основного метода его использовать не стоит, так как из 54 случаев правильно спрогнозировать получилось лишь 31 случай (57%), что говорит о том, что данный метод не учитывает многие другие факторы, которые влияют на образование замерзающих осадков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архив данных о погоде по аэродромам. [Электронный ресурс]
<https://www.ogimet.com/home.phtml.en>
2. Архив синоптических карт [Электронный ресурс]:
http://www1.wetter3.de/archiv_dwd_dt.html
3. Богаткин О.Г. Основы авиационной метеорологии. Учебник. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. – 339 с.
4. Данные зондирования. [Электронный ресурс]:
<https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.shtml>.
5. Шакина Н.П., Хоменко И.А., Иванова А.Р., Скриптунова Е.Н.
Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра
Российской Федерации. 2012. № 348. С. 130-161.
6. Архив погоды. [Электронный ресурс]
<https://rp5.ru>
7. Сафонова Т.В. Авиационная метеорология: учеб. пособие/ Т.В. Сафонова.
– Ульяновск: УВАУ ГА, 2005. – 215 с.
8. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология. Учебник –
Москва: Изд. МГУ, 2006- 584 с.
9. Данные о погодных явлениях [Электронный ресурс]:
<https://www.meteorf.gov.ru>