



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: «Анализ атмосферных условий при формировании интенсивных
гололёдно-изморозевых отложений»

Исполнитель Родина Эрна Валерьевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

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

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

« 13 » июня 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Гололедно–изморозевые явления и их характеристики	5
1.1 Классификация и условия образования наземного обледенения	5
1.2 Влияние отложений на различные отрасли экономики.....	7
1.3 Методы прогнозирования гололедно-изморозевых явлений	9
2 Регион исследования и исходные данные для анализа условий формирования гололедно-изморозевых отложений	12
2.1 Географическая и климатическая характеристика региона исследования	12
2.2 Синоптические условия формирования инея	14
2.3 Синоптические условия формирования гололеда.....	17
2.4 Синоптические условия формирования гололедицы.....	18
3 Анализ данных по гололедно-изморозевым отложениям Екатеринбурга.....	20
3.1 Анализ случаев инея в Екатеринбурге	20
3.2 Анализ случаев гололеда в Екатеринбурге.....	27
3.3 Анализ случаев кристаллической изморози в Екатеринбурге.....	33
3.4 Анализ случаев зернистой изморози в Екатеринбурге.....	39
3.5 Анализ случаев гололедицы в Екатеринбурге.....	47
Заключение	54
Список используемых источников	56

ВВЕДЕНИЕ

Гололедно-изморозевые отложения (ГИО) являются важным компонентом климатической системы, требующим постоянного наблюдения, поскольку при достижении определенных размеров в сочетании с ветром оказывают негативные воздействия на многие сферы жизнедеятельности.

Наблюдения за обледенением проводятся визуально, с помощью гололедного станка. В силу своей трудоемкости, на регулярной основе эти наблюдения проводятся не везде. В течение всего периода, от возникновения до исчезновения отложения, осмотр проводов станка производится не только в сроки наблюдения, но и промежутках между ними.

На территории Российской Федерации, где климатические условия способствуют частому возникновению явлений в холодный и переходные периоды года, особенно важно своевременное выявление предпосылок к их образованию.

Актуальность темы определяется необходимостью совершенствования методов диагностики и прогноза ГИО, особенно в условиях изменяющегося климата и участвовавших аномальных погодных явлений. Проведение детального анализа атмосферных условий, способствующих формированию интенсивных ГИО, позволит повысить точность оперативных прогнозов, снизить риск неблагоприятных последствий и повысить уровень метеорологического обеспечения различных отраслей.

Цель данной работы – провести анализ атмосферных условий, способствующих формированию интенсивных гололедно-изморозевых отложений, на основе синоптических данных и статистического анализа.

Задачи исследования:

1. Изучить механизмы образования гололеда и изморози.

2. Провести обзор метеорологических условий, сопровождающих интенсивные отложения.
3. Проанализировать реальные случаи образования гололедно-изморозевых явлений на основе архивных данных.
4. Оценить погодные параметры, способствующие интенсивному нарастанию отложений.

Объект исследования – атмосферные процессы, ведущие к образованию гололедно-изморозевых отложений.

Предмет исследования – метеорологические параметры, влияющие на интенсивность и длительность отложений.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения результатов для прогнозирования опасных погодных условий, а также в разработке рекомендаций по снижению их последствий.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трёх глав и заключения.

Список использованных источников содержит 16 наименований.

Во введении описывается актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, ее теоретическая и практическая значимость.

Первая глава имеет обзорный формат о ГИО их характеристики и классификация, условия возникновения, влияние отложений на отрасли экономики, описание существующих методов прогнозирования гололедно-изморозевых отложений.

Во второй главе рассказывается про географические и климатические особенности региона, а именно города Екатеринбурга, описываются условия формирования гололедно-изморозевых явлений.

В третьей главе показаны результаты общего анализа данных по ГИО и по каждому явлению, описание синоптической картины отдельных случаев.

1 Гололедно–изморозевые явления и их характеристики

1.1 Классификация и условия образования наземного обледенения

Гололедно-изморозевые отложения (ГИО) представляют собой твердые осадки в виде налившего льда, образующегося на предметах или поверхности Земли. Основными видами гололедно-изморозевого покрытия являются:

- гололед;
- кристаллическая и зернистая изморозь;
- отложение мокрого снега,
- твердый налет,
- иней.

В зависимости, от происхождения обледенения ГИО можно разделить на три основные группы:

К первой группе относятся те виды обледенения, которые образуются в результате (сублимации) перехода пара в лед, минуя жидкую фазу. К первой группе относятся иней, твердый (кристаллический) налет и кристаллическая изморозь.

Иней возникает в ясную тихую погоду на поверхности предметов, охлажденных излучением тепла и имеющих более низкую, чем воздух, отрицательную температуру. Вблизи поверхности предметов воздух охлаждается, и содержащийся в нем водяной пар, достигнув состояния насыщения, превращается в лед.

Ко второй группе можно отнести виды обледенения, связанные с наличием в атмосфере переохлажденной воды. В этом случае лед образуется в результате кристаллизации переохлажденных капель дождя, тумана или мороси. Наиболее часто этот вид наземного обледенения встречается при температурах воздуха близких к 0 °С.

К третьей группе можно отнести все виды наземного обледенения, образующиеся в результате замерзания обычной непереохлажденной воды (дождя, мокрого снега, осевших капель тумана, конденсата водяных паров и др.). По внешнему виду они похожи на отложения, отнесенные к первым двум группам, но в отличие от сублимационного льда прочно связываются с поверхностью.

Большое практическое значение имеют гололед, зернистая и кристаллическая изморозь, мокрый и замерзший мокрый снег.

Гололед – слой льда, образующийся на предметах, вследствие намерзания капель переохлажденного дождя, мороси или тумана, а также при соприкосновении капель осадков с поверхностью предметов, с температурой ниже 0 °С, образуя плотную, стекловидную корку льда.

Гололедица – лед или обледеневший снег на поверхности земли. Образуется вследствие замерзания жидких осадков – дождя, мороси, мокрого снега, а также вследствие замерзания талой воды на поверхности земли. Наблюдается на поверхности автомобильных дорог.

Зернистая изморозь – снеговидный рыхлый осадок, нарастающий на проводах, сучьев деревьев, отдельных травинках в туманную ветреную погоду при температуре воздуха от -2 до -7 °С, бывает или при более низких температурах.

Зернистая изморозь имеет аморфное (не кристаллическое) строение. Иногда поверхность ее бывает бугристой и даже игольчатой, но иглы обычно матовые, шершавые, без кристаллических граней.

Зернистая изморозь образуется вследствие намерзания на предмете переохлажденных капель тумана. Капли тумана при соприкосновении с предметом замерзают настолько быстро, что не успевают потерять своей формы и дают снеговидное отложение, состоящее из ледяных зерен, не различимых глазом (ледяной налет).

При повышении температуры воздуха и укрупнении капель тумана до размера мороси плотность образующейся зернистой изморози увеличивается, и она постепенно переходит в гололед.

С усилением мороза и ослаблением ветра плотность образующейся зернистой изморози уменьшается, и она постепенно сменяется кристаллической изморозью.

Кристаллическая изморозь — белый осадок, состоящий из мелких кристаллов льда тонкой структуры. При оседании на сучьях деревьев, проволоке, волокнах. Кристаллическая изморозь имеет вид пушистых гирлянд, легко осыпаящихся при встряхивании. Кристаллическая изморозь образуется преимущественно в ночные часы при безоблачном небе или тонких облаках при низкой температуре воздуха в тихую погоду, когда в воздухе наблюдается туман или дымка. При этих условиях кристаллы изморози образуются путем непосредственного перехода в лед (сублимации) водяного пара, возникающего при испарении капель тумана или дымки.

В некоторых случаях, преимущественно при очень сильных морозах, кристаллическая изморозь может образоваться без тумана или дымки за счет водяного пара, содержащегося в воздухе [2].

1.2 Влияние отложений на различные отрасли экономики

Отложения гололеда и изморози оказывают негативное влияние на различные отрасли экономики: дополнительная нагрузка на конструкции, ухудшение видимости и нарушение функционирования оборудования. Рассмотрим основные последствия ГИО для различных отраслей.

Энергетика:

- Обрывы линий электропередач (ЛЭП): Наледь и изморозь увеличивают вес проводов, что может приводить к их обрывам под действием ветра или собственного веса. Это вызывает массовые

отключения электроэнергии, нарушает работу промышленных предприятий, социальных объектов и жилых домов.

- Повреждение опор ЛЭП: Интенсивные ГИО могут создавать критическую нагрузку на опоры ЛЭП, что приводит к их деформации, наклону или разрушению. Восстановление поврежденных опор требует значительных затрат времени и ресурсов.
- Нарушение работы подстанций: Наледь и изморозь могут образовываться на изоляторах и другом оборудовании подстанций, что приводит к их пробою и выходу из строя.
- Снижение эффективности ветроэнергетических установок: Обледенение лопастей ветрогенераторов снижает их аэродинамические характеристики и уменьшает выработку электроэнергии. Для борьбы с этим используются системы антиобледенения, требующие дополнительных затрат [1].

Транспортная инфраструктура:

Автомобильная:

- Ухудшение сцепления: гололед ухудшает сцепление шин с дорожным покрытием, что увеличивает тормозной путь и повышает риск ДТП.
- Затруднение видимости: изморозь на стеклах автомобилей ухудшает видимость, что также способствует возникновению аварийных ситуаций.
- Ограничение движения: в случае, сильных гололедов движение автотранспорта может быть ограничено или полностью прекращено.

Железнодорожный транспорт:

- Обледенение контактной сети железных дорог нарушает передачу электроэнергии к электровозам, что приводит к задержкам в движении поездов.

- Замерзание стрелочных переводов, блокируя их работу и нарушая график движения поездов.

Авиация:

- Обледенение крыльев и фюзеляжа самолетов ухудшает их аэродинамические характеристики и увеличивает взлетную массу, что создает угрозу безопасности полетов. Перед взлетом самолеты обрабатываются противообледенительными жидкостями.
- Нарушение работы аэродромного оборудования: наледь и изморозь могут нарушать работу навигационного оборудования, взлетно-посадочной полосы и других систем аэродрома.

Сельское хозяйство:

- Повреждение сельскохозяйственных культур, обламывание ветвей плодовых деревьев.
- Вымерзание озимых культур, образование ледяной корки на полях может препятствовать доступу кислорода к корням озимых культур.
- Повреждение виноградников, обламывая лозы и снижая урожайность.
- Затруднение проведения сельскохозяйственных работ и сбора урожая.

1.3 Методы прогнозирования гололедно-изморозевых явлений

Прогнозирование гололедно-изморозевых явлений (ГИЯ) является сложной задачей, требующей учета множества факторов, таких как температура, влажность, ветер, рельеф и синоптическая ситуация. Существуют различные методы прогнозирования ГИЯ, которые можно разделить на несколько основных категорий.

Синоптический метод производится анализ синоптических карт погоды, данных наблюдений с метеостанций и спутников, определение синоптических ситуаций, благоприятных для образования ГИЯ, таких как:

- Прохождение фронтов, особенно теплых или окклюзии, с выпадением переохлажденных осадков.
- Нахождение территории под влиянием антициклона с формированием инверсий температуры и туманов.
- Вынос теплого и влажного воздуха на охлажденную поверхность.

В статистическом методе используется анализ многолетних рядов данных наблюдений за метелями, снежным покровом и ветровыми характеристиками. Обработка данных наблюдений, производится на ПК с помощью пакетов прикладных программ (Statistica, Blitzstatistika, Excel) стандартными методами математической статистики.

Для визуализации полученных результатов использовались программа ArcGis 10.2.2, картографический пакет программы Surfer и другие графические редакторы. В модуле Geostatistical Analyst программы ArcGis использовался метод взвешенного осреднения с весами, обратно пропорциональными расстоянию. [Современные изменения климатических условий, определяющих накопление снега на автомобильных дорогах томской области В.П. Горбатенко, Г.Г. Журавлев, О.В. Носырева, М.А. Волкова, Л.И. Кижнер, Д.А. Константинова].

Численные методы выделяется несколько моделей прогнозирования:

- мезомасштабной модели WRF-ARW (Weather Research and Forecasting – Advanced Research WRF). Данная модель имеет широкий диапазон выбора начальных данных, настроек запуска и инструментов для обработки полученных расчетов. Область интегрирования для воспроизведения гололеда и зернистой изморози имела четыре расчетных домена с шагами по пространству 18, 6, 2 и 0,667 км с количеством узлов 142x121 для каждой вложенной сетки. Для изучения отложений в виде

мокрого снега использовались первые три расчетные области (с шагом 18, 6 и 2 км).

- ERA5 данный реанализ использовался в качестве начальных и граничных условий для запуска мезомасштабных численных экспериментов с использованием модели WRF-ARW. В расчетах использовался реанализ с шагом по пространству $0.25 \times 0.25^\circ$ и с шагом 1 час по времени и 37 вертикальными уровнями [Леонов Игорь Иванович Структура атмосферы при формировании высокоинтенсивных гололедно-изморозевых отложений]

Схема постпроцессинга, реализация того или иного алгоритма распознавания типа осадков. Иногда используются несколько алгоритмов.

- Алгоритм BTC (Baldwin, Treadon, Contorno) предназначен для распознавания типов осадков по наблюдаемому или предсказанному вертикальному распределению температуры и влажности. Идея алгоритма состоит в анализе вертикальной стратификации слоев, проходимых падающим гидрометеором, и определении возможностей его таяния или замерзания.

- Алгоритм Бургуэна определяет условия таяния или замерзания гидрометеоров. Рассчитываются площади между нулевой изотермой и наблюдаемой положительной температурой («энергия таяния», ЭТ) и между нулевой изотермой и наблюдаемой отрицательной температурой («энергия замерзания») на стандартной тегиграмме. Тип осадков определяется по соотношению энергий таяния и замерзания.

- Алгоритм CSTPS (Czys, Scott, Tang, Przybylinski, Sabones) предназначен для разделения ледяных зерен и замерзающего дождя путем определения доли льда в единичном сферическом гидрометеоре. Тип осадков вначале определяется путем расчета времени, в течение которого ледяная сфера сохраняется в теплом слое, и времени, необходимого для полного таяния этой сферы [Образование и прогнозирование замерзающих осадков: обзор литературы и некоторые новые результаты Н.П. Шакина, И.А. Хоменко, А.Р. Иванова, Е.Н. Скриптунова]

2 Регион исследования и исходные данные для анализа условий формирования гололёдно-изморозевых отложений

2.1 Географическая и климатическая характеристика региона исследования

Город Екатеринбург расположен на восточном склоне Среднего Урала, в пределах переходной зоны между Уральскими горами и Западно-Сибирской равниной. Географические координаты: приблизительно $56^{\circ}50'$ северной широты и $60^{\circ}35'$ восточной долготы. Высота над уровнем моря — около 270 метров (рисунок 2.1).

Екатеринбург относится к лесной зоне, к зоне южной тайги. Преобладающий природный ландшафт — смешанные и хвойные леса с чередованием лугово-болотных участков. Рельеф территории в основном равнинный с незначительными колебаниями высот (увалы, холмистость), что способствует застойным явлениям в нижнем слое атмосферы, особенно в холодный период года.

Гидрографическая сеть представлена рекой Исеть и её притоками, что оказывает влияние на локальные микроклиматические условия — вблизи водоёмов часто наблюдаются туманы и повышенная влажность, способствующая образованию изморози.

Климат Екатеринбурга — континентальный, с ярко выраженной сезонной контрастностью. Характерны холодная, продолжительная зима и короткое, тёплое лето. Среднегодовая температура воздуха составляет около $+1,5^{\circ}\text{C}$, средняя температура января — $-15...-17^{\circ}\text{C}$, июля — $+17...+19^{\circ}\text{C}$. Абсолютный минимум может достигать -45°C , максимум — более $+35^{\circ}\text{C}$.

Для осенне-зимнего периода характерны частые перепады температуры через 0°C , высокая влажность и продолжительные периоды с туманами и моросью. Именно такие условия способствуют интенсивному образованию гололедно-изморозевых отложений, особенно в периоды южного циклонического влияния.

Погодные условия Екатеринбурга часто определяются взаимодействием воздушных масс арктического, умеренного и реже — тропического происхождения. Это обуславливает высокую изменчивость метеорологических параметров, в том числе по осадкам, температуре и влажности.

Таким образом, физико-географическое положение Екатеринбурга создаёт благоприятные условия для частого возникновения гололедно-изморозевых явлений, особенно в переходные сезоны (осень — начало зимы, конец зимы — весна), что делает его характерным регионом для исследования.

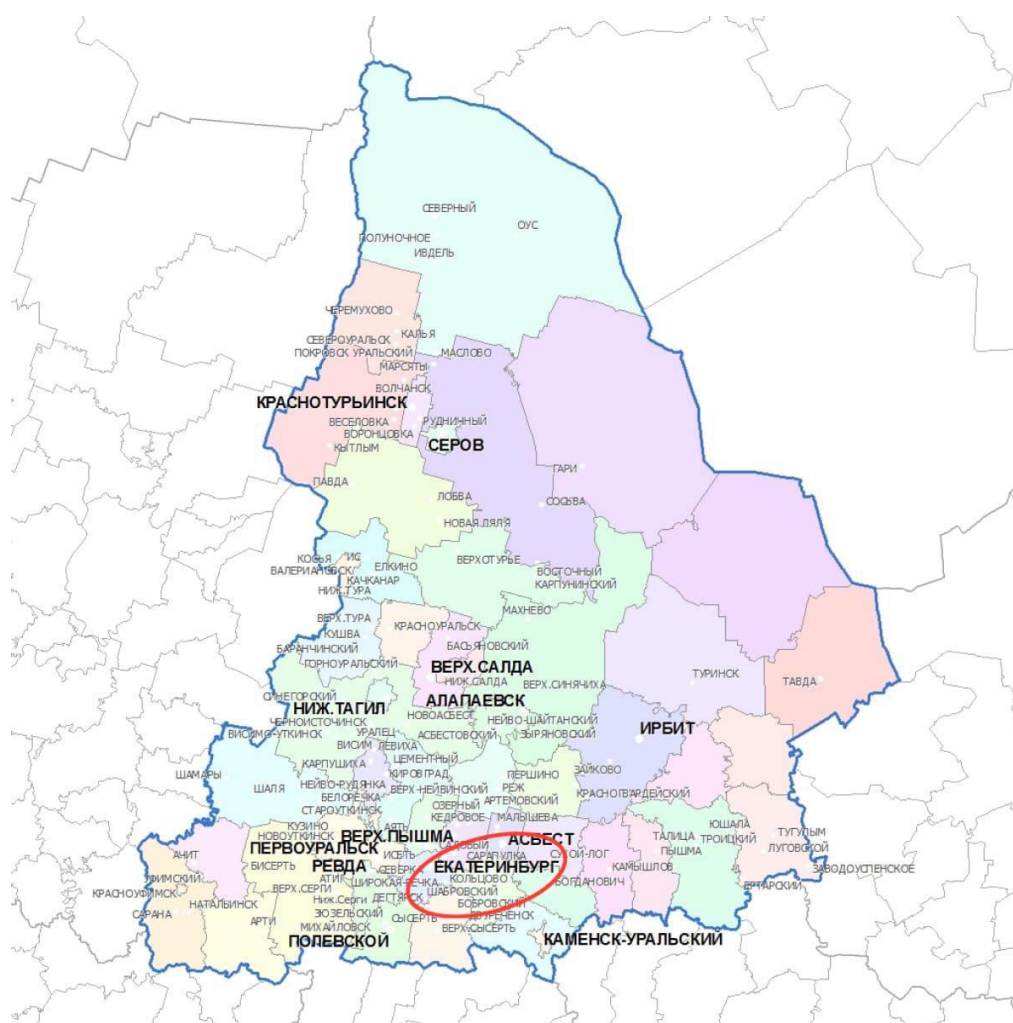


Рисунок 2.1 – Карта Свердловской области, с выделенным регионом исследования

В данном исследовании в основном использованы данные архива Всероссийского научно-исследовательского института

гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД).

Перечень метеорологических параметров, которые можно получить из данного архива: температура воздуха, влажность, осадки, облачность, видимость, атмосферное давление, скорость и направление ветра, наличие переохлаждённых осадков.

Архив данные об атмосферных явлениях содержит информацию о результатах наблюдений за всеми явлениями в атмосфере 8 раз в сутки. Так как в рамках данного исследования рассматривались гололёдно-изморозевые явления, то из данных были выбраны явления с шифрами 11, 12, 13, 14, 18.

Кроме этого в исследовании использовалась информация о синоптических процессах со следующих ресурсов:

- сайт pogodaiklimat.ru,
- Climate Data Store,
- ECMWF,
- ERA5,
- Meteoinfo.ru

2.2 Синоптические условия формирования инея

Формирование инея происходит при определённом сочетании термодинамических и синоптических условий, способствующих оседанию водяного пара из воздуха на охлаждённые поверхности в твёрдом состоянии. Основные условия, при которых наблюдается данное явление, часто встречается в осенне-зимний период.

Наиболее благоприятной синоптической ситуацией для образования изморози является антициклон. Под действием высокого давления и инверсии температуры происходит ночное выхолаживание приземного слоя атмосферы.

Штиль или слабый ветер (1-2 м/с), предотвращает перемешивание воздуха и способствует насыщению приземного слоя водяным паром.

Отсутствие облачности способствует активному радиационному охлаждению поверхности и нижних слоёв атмосферы.

Иней наблюдается при отрицательных температурах воздуха, обычно в пределах: от 0 до -15°C , наиболее активно — при $-5\ldots-10^{\circ}\text{C}$.

Температура поверхности объекта, на котором образуется отложение, должна быть ниже точки росы, чтобы происходила сублимация.

Изморозь часто формируется в условиях тумана, особенно ночью при ясной погоде и слабом ветре. Туман обеспечивает высокую концентрацию водяного пара в приземном слое.

При влажности воздуха более 90–95 %, особенно при наличии слабой положительной точки росы и отрицательной температуры поверхности, иней или изморозь могут нарастать интенсивно в течение нескольких часов.

Наиболее частое формирование изморози происходит:

Осенью (октябрь–ноябрь) — при первых ночных заморозках и наличии остаточного увлажнения почвы/атмосферы;

Зимой (декабрь–февраль) — при продолжительных периодах антициклона, особенно в котловинах и на равнинах;

Весной — в марте–апреле, в условиях ночного охлаждения и ещё высокой влажности воздуха.

Несмотря на различия в механизме образования и внешнем виде, иней и изморози (кристаллическая и зернистая) имеют несколько общих и различающих черт:

Таблица 1 – Признаков сходства явлений

<i>Признак</i>	<i>Иней</i>	<i>Кристаллическая изморозь</i>	<i>Зернистая изморозь</i>	<i>Общее</i>
Температура воздуха	$< 0^{\circ}\text{C}$	$< 0^{\circ}\text{C}$	$< 0^{\circ}\text{C}$	Образование при отрицательных температурах

Источник влаги	Водяной пар	Мелкие переохлажденные капли	Более крупные переохлажденные капли	Высокая влажность
Тип атмосферных условий	Туман или высокая влажность без осадков	Туман, изморозь	Моросящие осадки, туман	Отсутствие сильного ветра, высокая влажность
Ветер	Штиль или 1-2 м/с			Образуются при слабом ветре

Таблица 2 – Отличия между явлениями

Признак	Иней	Кристаллическая изморозь	Зернистая изморозь
Механизм образования	Сублимация водяного пара - лед	Замерзание переохлажденных мелких капель	Замерзание крупных капель при быстром охлаждении
Источник влаги	Водяной пар (без капель)	Переохлажденный туман или морось	Крупные переохлажденные капли или морось
Температура образования	Чаще $-5...-15\text{ }^{\circ}\text{C}$	Чаще $-2...-10\text{ }^{\circ}\text{C}$	Может возникать даже при $0...-2\text{ }^{\circ}\text{C}$
Структура отложений	Лёгкий, пушистый кристаллический налёт	Иголки, перья, кристаллы	Плотный, зернистый, грубый налёт
Тип поверхности, где образуется	Все открытые, особенно горизонтальные	Все поверхности, особенно выступающие части	Чаще на вертикальных и наветренных поверхностях
Опасность для инфраструктуры	Минимальна	Средняя (увеличение массы объектов)	Высокая (обрывы проводов, налипание на ЛЭП)
Визуальный вид	Белый, пушистый, тонкий	Белый, кристаллический, ажурный	Белый, плотный, зернистый, похож на мокрый снег

2.3 Синоптические условия формирования гололеда

Гололёд формируется, когда на поверхность, температура которой ниже 0°C , выпадают переохлаждённые осадки. Осадки при этом находятся в жидком состоянии, но температура воздуха и/или поверхности находится ниже точки замерзания. При контакте с холодными объектами капли мгновенно превращаются в лёд.

Наиболее характерной синоптической ситуацией, при которой наблюдается гололёд, является прохождение теплого фронта, при котором:

В приземном слое сохраняется отрицательная температура воздуха (инверсия), а на высоте в несколько сотен метров проникает тёплый воздух, осадки, сформированные в слое выше 0°C , успевают переохладиться при падении и замерзают уже на поверхности.

Также возможны следующие синоптические ситуации:

- Фронт окклюзии с активной фазой осадков;
- Южные циклоны и их тёплые секторы, проталкивающие тёплый и влажный воздух над холодной подстилающей поверхностью (особенно зимой);
- Выход теплых воздушных масс на фоне сохраняющейся приземной «холодной ловушки» (например, в долинах и низинах).

Типичные погодные условия при гололёде

Таблица 3 – Значения погодных условий

Параметр	Типичные значения
Температура воздуха	$-2 \dots 0^{\circ}\text{C}$ (на поверхности)
Температура на высоте	$+1 \dots +3^{\circ}\text{C}$ (на высоте 850 гПа)
Влажность воздуха	90–100 %
Осадки	Морсящий дождь, морось

Облачность	Сплошная, Ns и As
Ветер	Слабый или умеренный
Давление	Падение давления (фронтальная зона)

Гололёд чаще всего наблюдается поздней осенью (октябрь–ноябрь), зимой (декабрь–февраль) и ранней весной, когда возможны резкие переходы температуры через 0 °С.

2.4 Синоптические условия формирования гололедицы

Гололедица — это скользкий лёд, образующийся на поверхности земли (дорогах, тротуарах и т.п.) в результате замерзания влаги после оттаивания снега, выпадения осадков или переохлаждения поверхности. В отличие от гололёда, который связан с замерзанием переохлаждённых капель при падении, гололедица формируется уже после выпадения осадков или при понижении температуры до отрицательных значений.

Гололедица формируется в следующих ситуациях:

- Замерзание талой воды или осадков (дождя, мороси), оставшихся на поверхности после потепления, при последующем понижении температуры ниже 0 °С;
- Переохлаждение влажной поверхности в вечернее или ночное время после оттепели;
- Выход температуры воздуха через 0 °С с плюса в минус, особенно в вечерние и ночные часы.

Гололедица чаще всего наблюдается при антициклон или в тылу циклона, когда происходит резкое похолодание после выпадения осадков:

Антициклон после фронтального прохождения:

- Проходит атмосферный фронт с осадками (дождь, мокрый снег);
- Затем устанавливается антициклон, небо проясняется;
- Поверхность быстро выхолаживается, осадки/влага замерзают — формируется гололедица.

Тыловая часть циклона:

- После прохождения фронта температура понижается;
- Ветер сменяется на северный/северо-западный;
- При прояснении и слабом ветре влажные поверхности покрываются льдом.

Прохождение холодного фронта с последующим понижением температуры:

- В течение суток температура падает с положительных значений до отрицательных;
- Поверхностная влага, не успев испариться, замерзает;

Это приводит к формированию гололедицы на дорогах, тротуарах и т.п.

3 Анализ данных по гололедно-изморозевым отложениям Екатеринбурга

Для анализа был взят архив данных по пяти явлениям:

- иней,
- гололед,
- кристаллическая и зернистая изморозь,
- гололедица.

Данные начинаются с 1965 года, для работы были использованы с 1977 года, так как в исследовании рассматривается продолжительностью явления, а в промежуток времени от 1965 до 1977 такой характеристики в архиве данных нет.

Общее количество наблюдений по атмосферным явлениям составляет 24 262.

3.1 Анализ случаев инея в Екатеринбурге

За период с 1978 по октябрь 2024 года наблюдалось всего 15 422 случаев. Распределение количества случаев инея по месяцам представлено на рисунке 3.1.

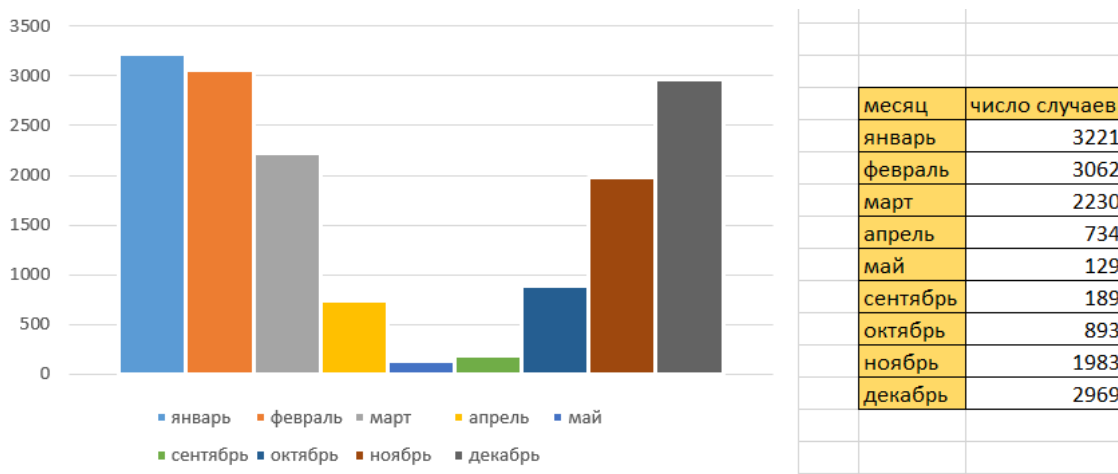


Рисунок – 3.1 – Распределение явления инея в Екатеринбурге по месяцам

Анализ данных позволяет говорить о том, что в Екатеринбурге только в одном месяце – июле – не наблюдалось явления иней.

Иней наблюдался в июне – 9 случаев, когда иней выпадал в ночные сроки, а именно:

2 дня в 1984 году,

1 день в 1985 году,

2 дня в 1999 году.

На рисунке 3.2 представлен фрагмент таблицы, который иллюстрирует вывод о наличии случаев инея в июне.

станции	год	месяц	день	срок	мест.в	№ атм.	сифт а	интенс	время начал	время кони	продолжительность
28440	1984	6	1	21	2	1	11	0	20	21	1
28440	1984	6	2	0	5	1	11	0	21	23	2
28440	1984	6	2	0	5	2	11	1	23	0	-23
28440	1984	6	2	3	8	1	11	1	0	2	2
28440	1985	6	1	0	5	1	11	0	21	0	-21
28440	1985	6	1	3	8	1	11	0	0	2,3	2,3
28440	1999	6	14	21	2	1	11	0	20	21	1
28440	1999	6	15	0	5	1	11	0	21	0	3
28440	1999	6	15	3	8	1	11	0	0	1,4	1,4

Рисунок 3.2 – Фрагмент данных, иллюстрирующих наличие случаев инея в июне

Три случая инея наблюдалось в августе (рисунок 3.3) – один раз в 1987 и 2011 годах

станции	год	месяц	день	срок	мест.в	№ атм.	сифт а	интенс	время начал	время кони	продолжительность
28440	1987	8	30	3	8	2	11	0	1	3	2
28440	2011	8	22	0	5	1	11	1	22,3	0	1,5
28440	2011	8	22	3	8	1	11	1	0	2	2

Рисунок 3.3 – Фрагмент данных, иллюстрирующих наличие случаев инея в июне

Рассмотрим синоптическую ситуацию за 22.08.2011 г., которая способствовала возникновению инея в августе 2011 года. На рисунке 3.4 представлена синоптическая карта.

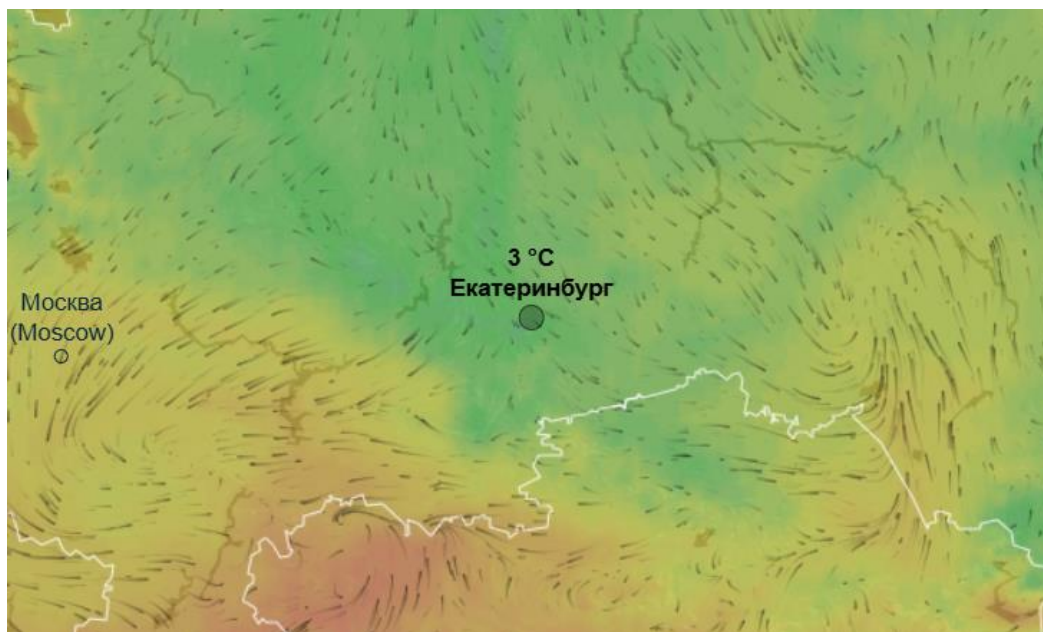


Рисунок 3.4 – Синоптическая карта за 22.08.2011

22 августа 2011 года Екатеринбург находился в зоне циклона с давлением в центре – 980 гПа.

Циклон за предыдущие сутки смещался на восток. 22 августа в г. Екатеринбург наблюдалась облачность 2-3 балла, ветер северо-западный со скоростью 1-2 м/с.

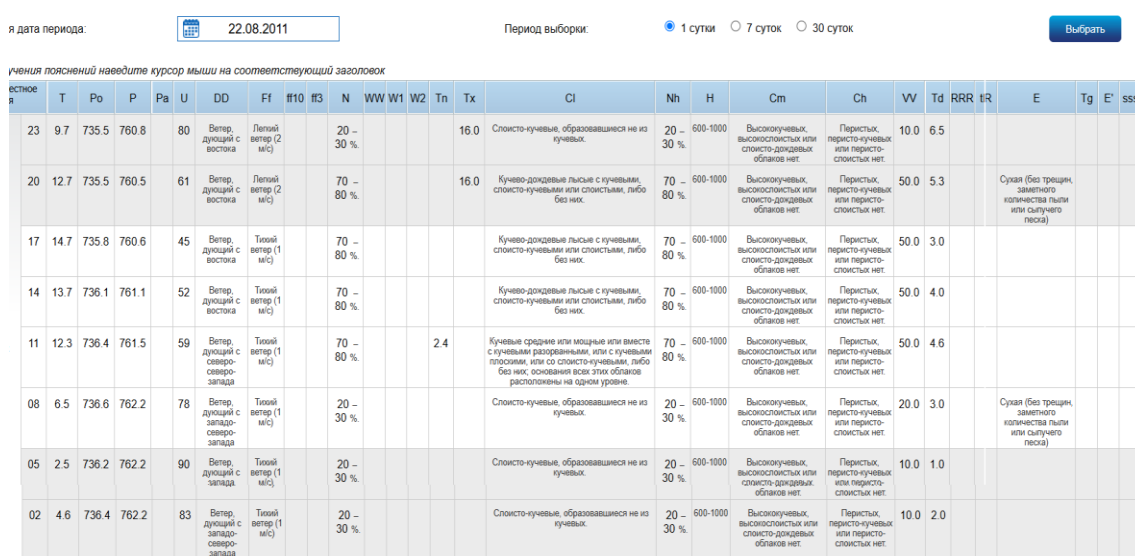


Рисунок – 3.5 – Состояние погоды на 22.08.2011 г.

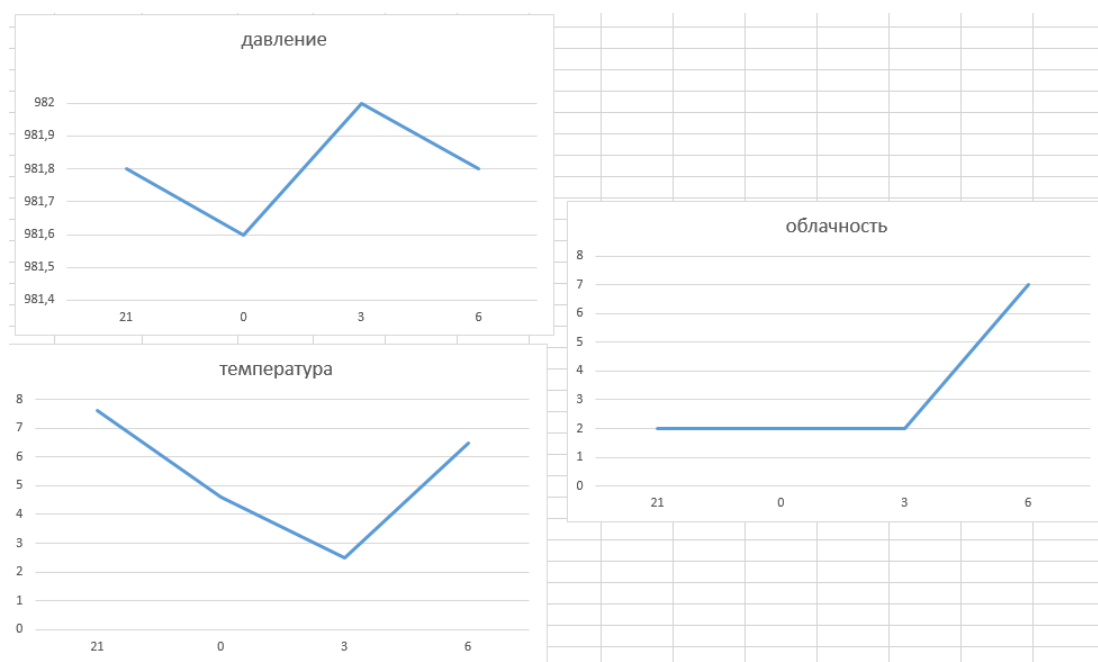
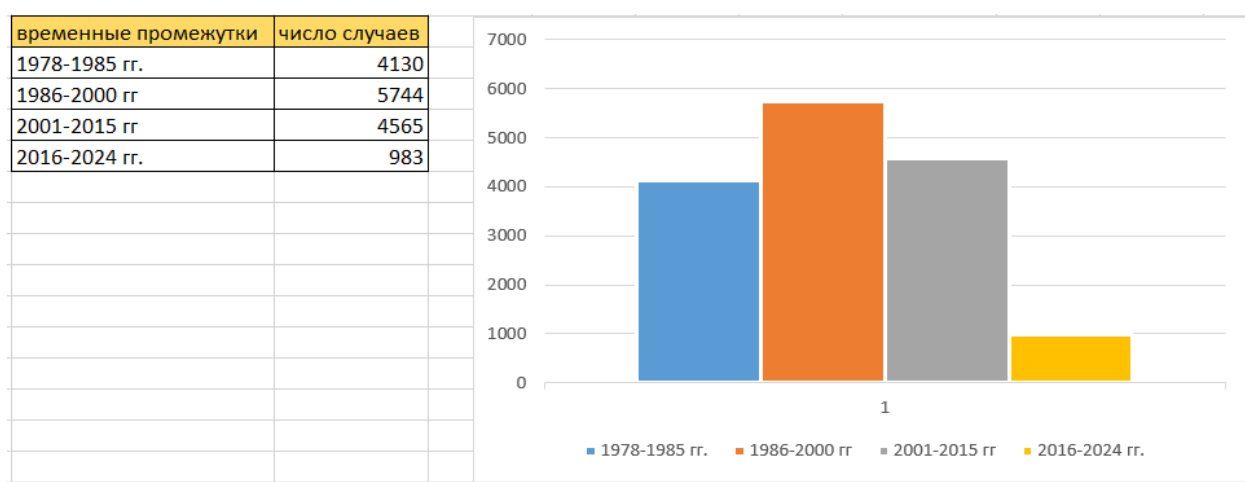


Рисунок – 3.6 – Графики по метеопараметрам за 22.08.2011 г.

Из таблицы, изображенной на рисунке 3.7 – Распределение явления инея по периодам лет. Видно, что максимальное число случаев наблюдается в период с 1986 по 2000 год, это обусловлено тем, что в этот период наблюдалось глобальное потепление. Минимальное количество в период 2016-2024 года.



Рисунке 3.7 – Распределение явления инея по периодам лет

На графике 3.1 – Динамика количества случаев инея по годам, видно, как изменяется частота наблюдений. С 1978 по 1984 год наблюдается относительно высокое количество случаев, в диапазоне от 400 до 640. С конца 1980-х до начала 2010-х годов наблюдается значительная изменчивость, но в целом количество случаев инея остается выше, чем в последующие годы. Начиная с 2012 года, наблюдается резкое снижение количества случаев инея, с устойчиво низкими значениями в последние годы (2016-2024).

Максимальное количество был в 1984 году – 637 случаев, минимальное в 2024 году – 33 случая.



График 3.1 – Динамика количества случаев по годам

На графике 3.2 – Распределение количества случаев в зависимости от времени. Видно, что явление чаще всего наблюдается в 5 часов утра (06 срок), и реже в 17 часов (18 срок).

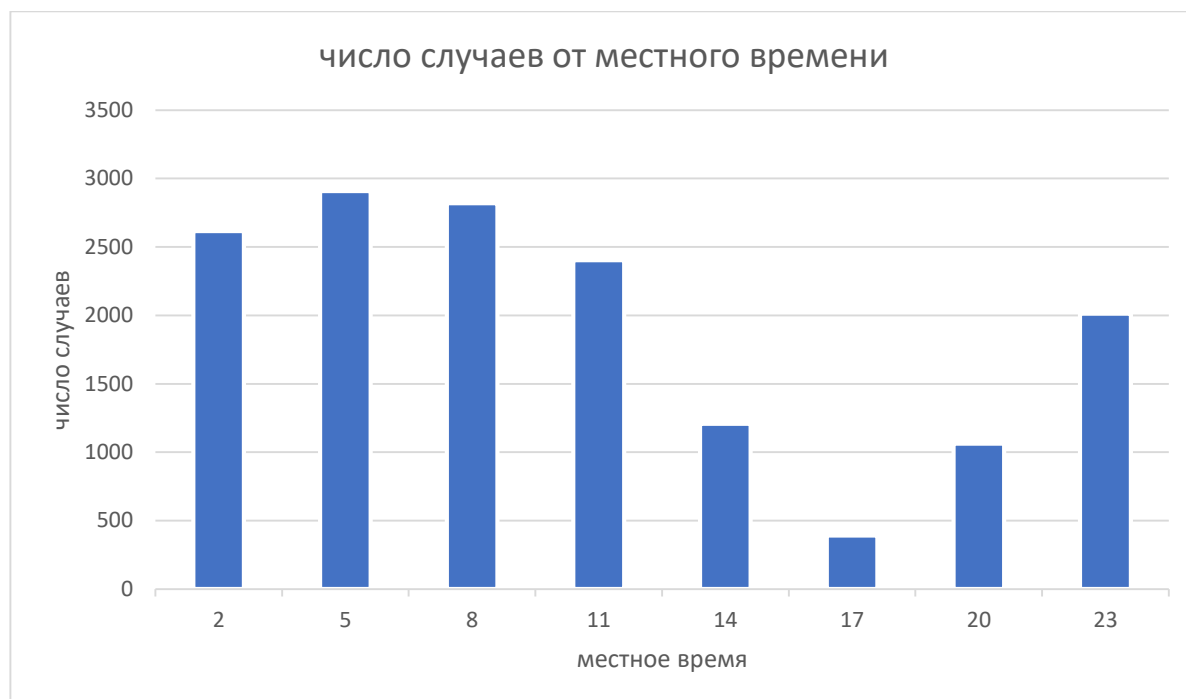


График 3.2 – Распределение количества случаев в зависимости от времени

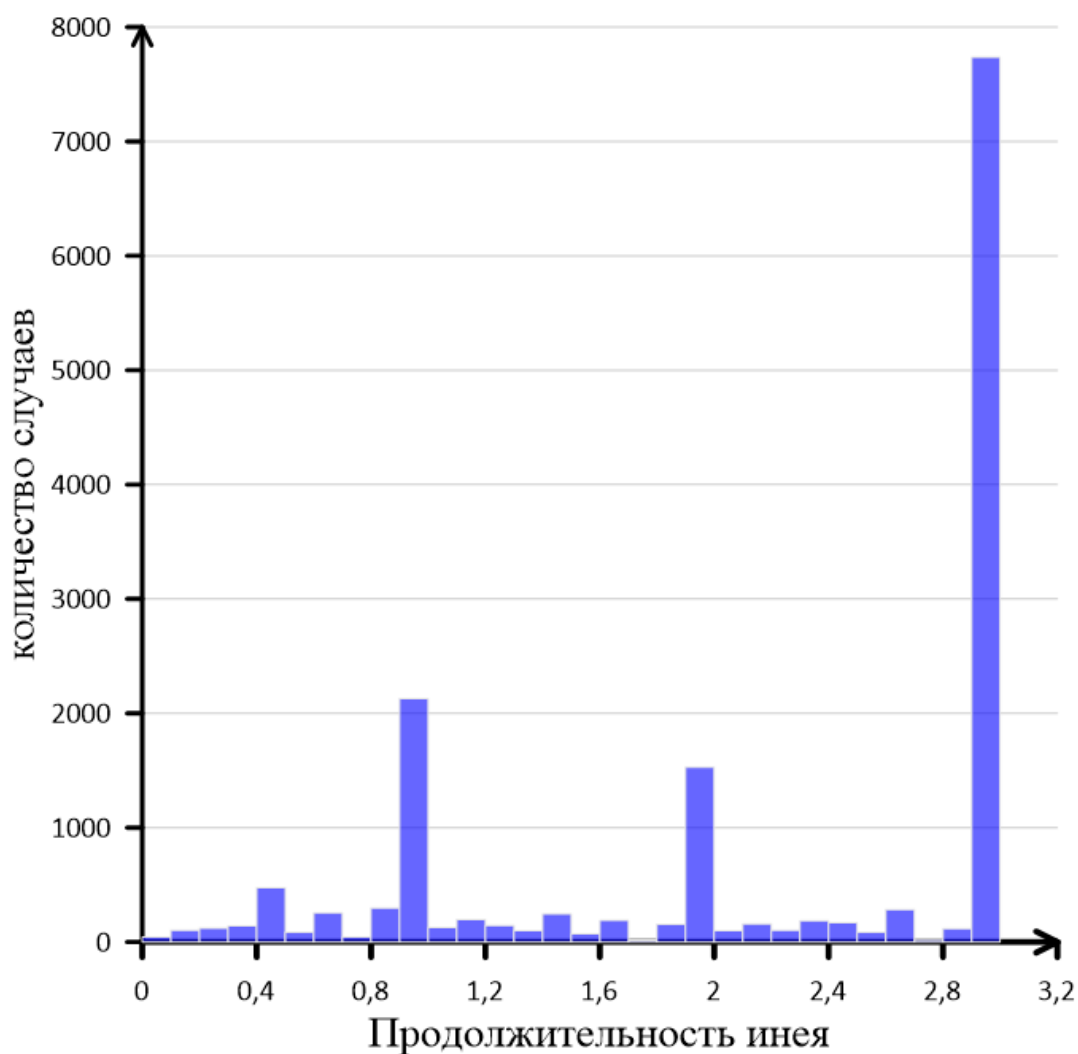


Рисунок 3.8 – Распределение количества случаев в зависимости от продолжительности

Из графика рисунка 3.8 видно, что, наиболее частые случаи наблюдаются при продолжительности инея около 2,8 часа — здесь зафиксирован резкий пик, около 7800 случаев, что значительно превышает другие значения.

Также заметно, два выраженных локальных максимума: при продолжительности примерно 0,8 и 2,0 часа, с количеством случаев около 2200 и 1500 соответственно. Между этими пиками и в других областях наблюдается относительно низкое количество случаев, не превышающее 500.

Таким образом, распределение характеризуется несколькими выраженными пиками, при этом самый высокий пик наблюдается при

максимальной продолжительности инея, что может указывать на особые условия или факторы, способствующие длительному образованию инея.

3.2 Анализ случаев гололеда в Екатеринбурге

За период с 1978 по 2024 года наблюдалось всего 648 случаев. Распределение количества случаев гололеда по месяцам представлено на рисунке 3.9.

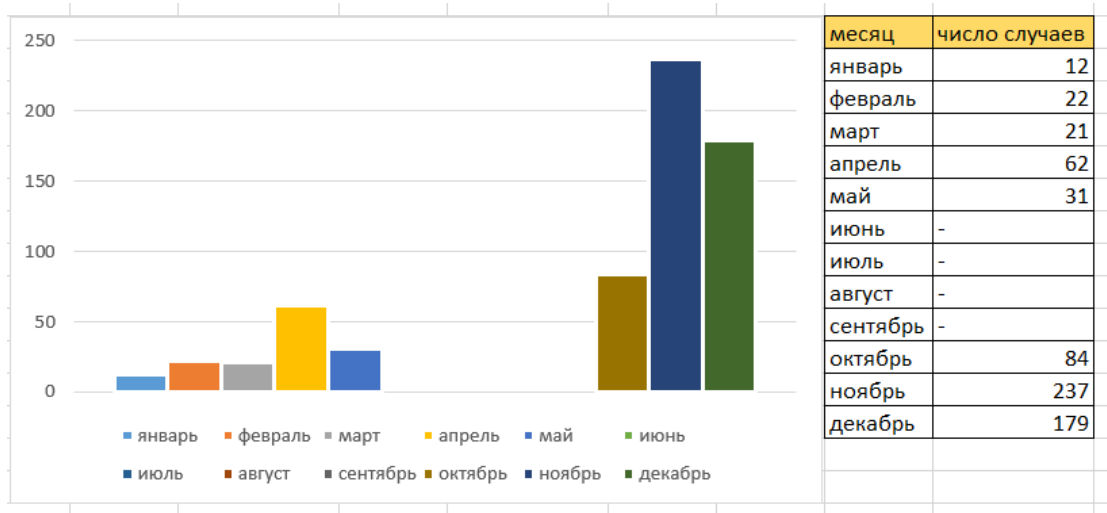


Рисунок 3.9 – Распределение количества случаев гололеда по месяцам

Анализ данных позволяет говорить о том, что в Екатеринбурге в летний период и сентябре – не наблюдались явления гололеда.

Минимальное количество наблюдений за явлением было в январе – 12 случаев, а именно:

- 1 день в 1991 году – в ночной срок,
- 1 день в 1999 году – в дневные сроки,

На рисунке 3.10 представлен фрагмент таблицы, который демонстрирует вывод о наличии случаев гололеда в январе.

станции	год	месяц	день	срок	мест.в	№ атм.	шифт а	интенс	время	время конца	продолжительнос
28440	1991	1	16	3	8	1	12	0	0	3	3
28440	1999	1	12	6	11	5	12	0	3,55	6	2,45
28440	1999	1	12	9	14	3	12	0	6	9	3
28440	1999	1	12	12	17	3	12	0	9	11,3	2,3
28440	2001	1	2	18	23	3	12	0	17,15	18	0,45
28440	2001	1	2	21	2	3	12	0	18	21	3
28440	2001	1	3	0	5	2	12	0	21	0	3
28440	2001	1	3	3	8	2	12	0	0	3	3
28440	2001	1	3	6	11	2	12	0	3	6	3
28440	2001	1	3	9	14	2	12	0	6	9	3
28440	2001	1	3	12	17	2	12	0	9	12	3
28440	2001	1	3	15	20	2	12	0	12	14	2

Рисунок – 3.10 – Фрагмент данных, демонстрирующий вывод о наличие случаев гололеда в январе

2 дня в 2001 году – 9 случаев, 2 января – в сроки 18 и 21, 3 января в течение всего дня. На рисунке 3.4 представлена синоптическая карта за 3 января 2001 год,.

Екатеринбург, 3 января 2001 года, находился в зоне малоградиентной ложбине, который располагался над Великобританией с давление в центре – 980 гПа. В течение дня циклон заполнялся. 3 января в г. Екатеринбург наблюдалась облачность 10 баллов, ветер юго-восточный со скоростью 1-2 м/с.

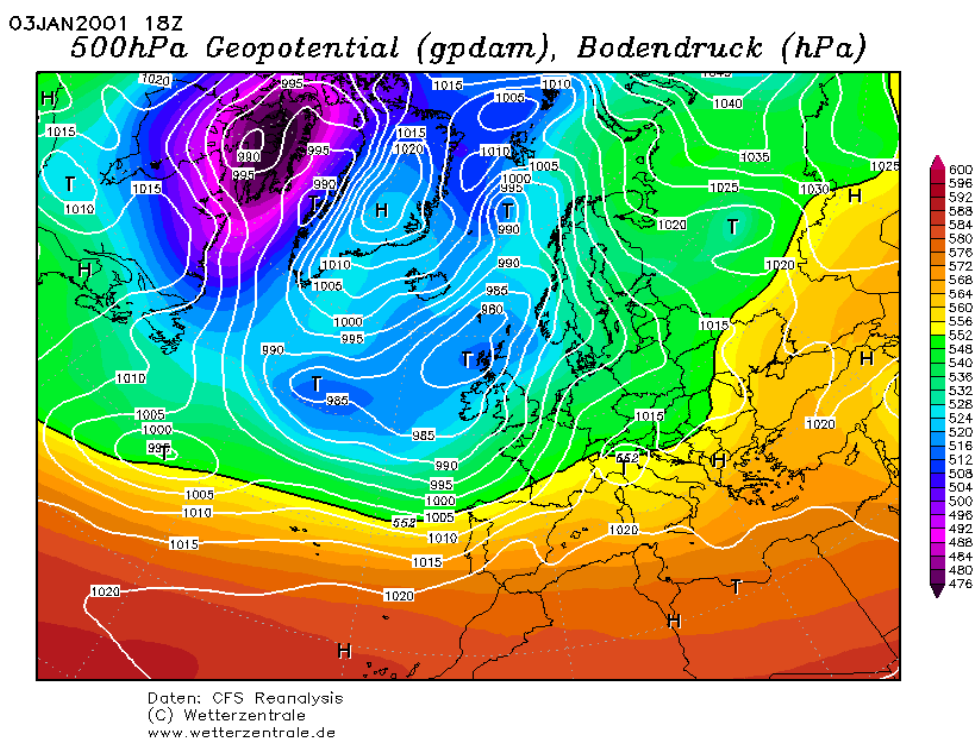


Рисунок 3.11 – Синоптическая карта 03.01.2001

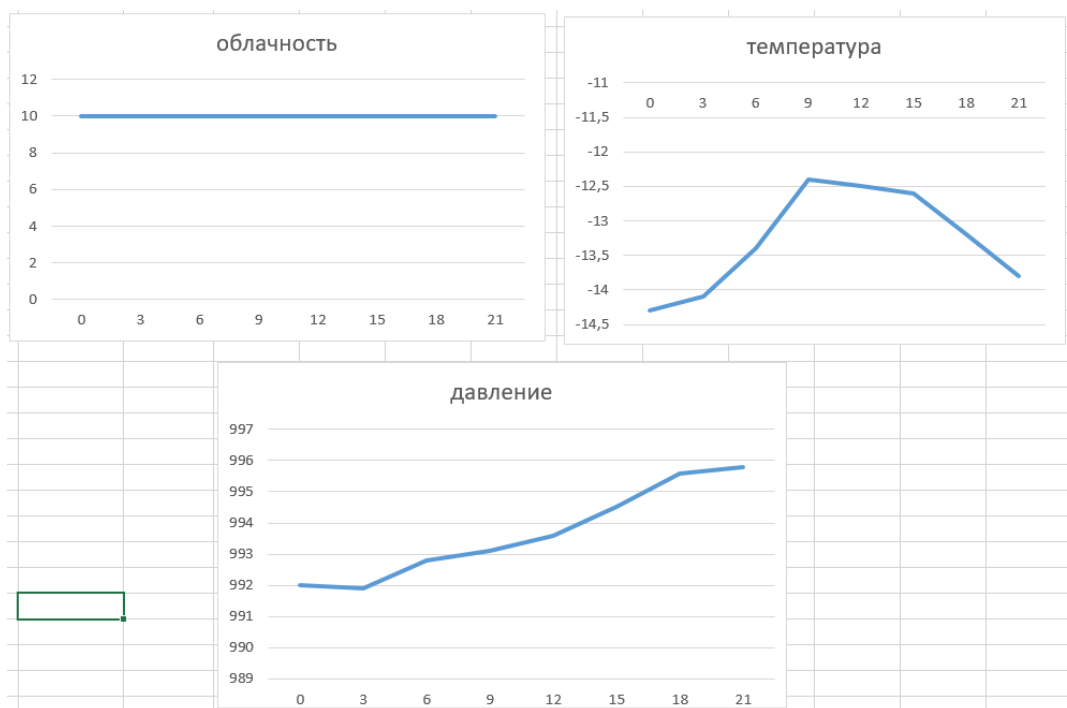


Рисунок – 3.12 – Графики по метеопараметрам за 03.01.2001 г.

Исходя, из таблицы, изображенной на рисунке 3.12 – Распределение явления гололеда по периодам лет. В целом, график показывает, что количество случаев варьировалось в течение этих периодов, с пиком в 1986-2000 гг. и последующим снижением к 2016-2024 гг.

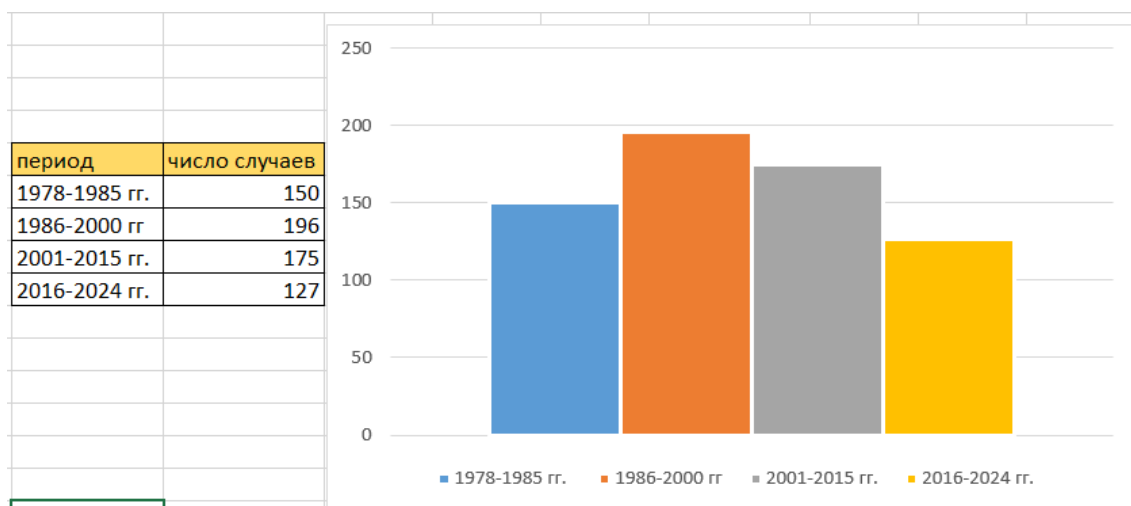


Рисунок 3.12 – Распределение гололеда по периодам лет

На график 3.3 – Динамика количества случаев по годам, видны перепады числа случаев от года к году. Есть периоды с низким количеством случаев гололеда, например, в начале 1982 и 1988 годах – всего по 2 наблюдения за год. После 2002 года, где наблюдалось 50 случаев, резкий спад в 2004 году до нуля. В последующем наблюдается низкая вариация от 4 до 20 случаев. Аномально высокий показатель был в 2024 год – 73 случая, значительно превышая все предыдущие годы.



График 3.3 – Динамика количества случаев по годам

На графике 3.4 – Распределение количества случаев в зависимости от времени. Наибольшее число случаев наблюдалось в районе 8 и 11 часов утра (09 и 12 сроки). Реже, в вечернее время, 17 и 20 часов (18 и 21 сроки).



График 3.4 – Распределение количества случаев в зависимости от времени

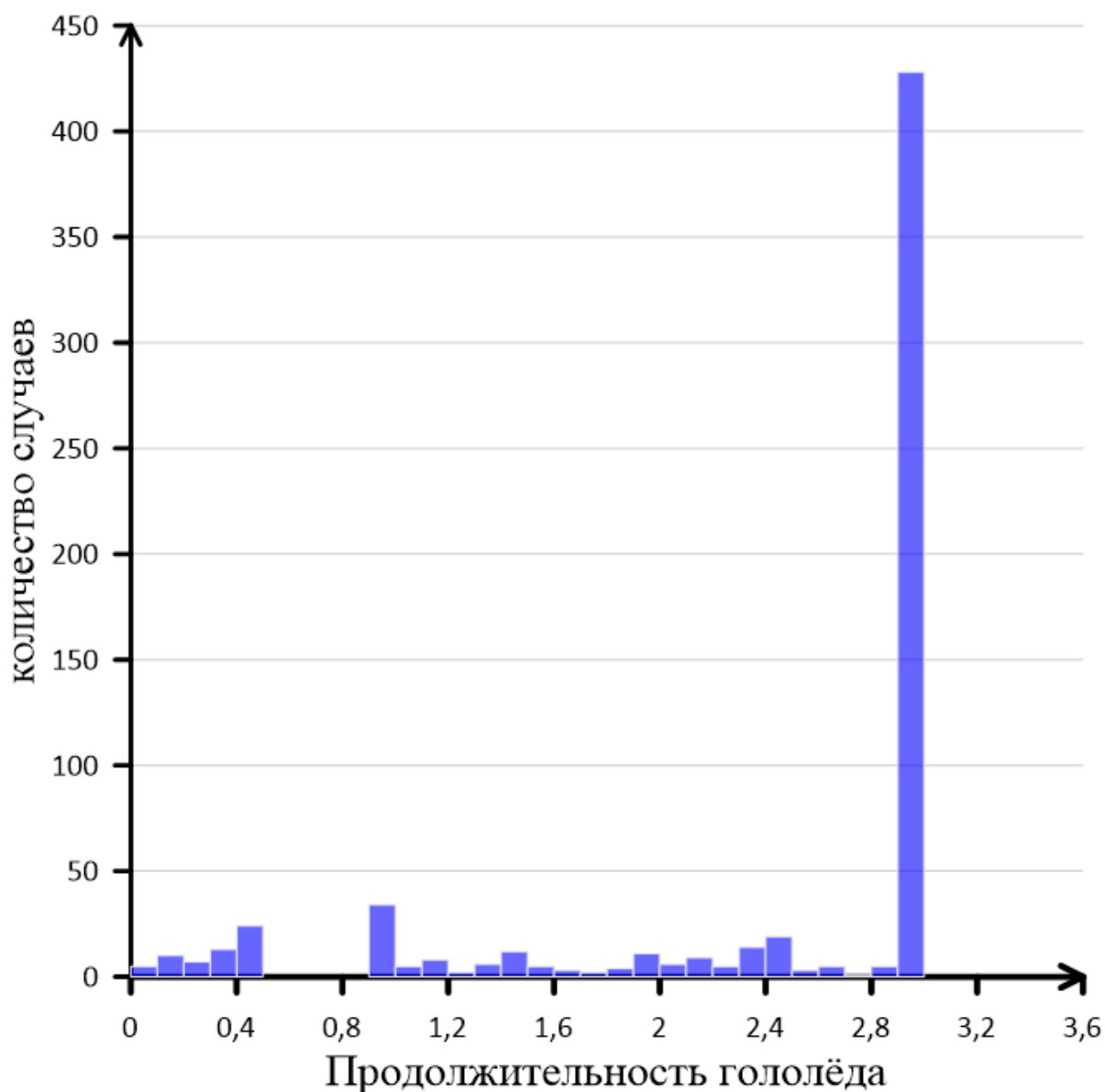


Рисунок 3.13 – Распределение количества случаев в зависимости от продолжительности

На рисунке 3.13 – Распределение количества случаев в зависимости от продолжительности. Наблюдается преобладание случаев с максимальной продолжительностью: Наибольшее количество случаев гололёда (около 430) приходится на продолжительность, близкую к 3 единицам. Это говорит о том, что гололёд с максимальной продолжительностью является наиболее частым явлением в данной выборке.

Незначительное количество случаев с малой и средней продолжительностью: Для большинства значений продолжительности

гололёда (от 0 до примерно 2.8 единиц) количество случаев относительно небольшой, не превышая 30-40 случаев. Есть небольшие пики в районе 0.4 и 0.8 единиц, но они незначительны по сравнению с главным пиком.

Ярко выраженная асимметрия: Распределение сильно асимметрично, с резким пиком в конце шкалы и очень небольшим количеством случаев в остальной части диапазона.

Этот график может указывать на то, что условия, благоприятствующие образованию гололёда, либо приводят к его быстрому исчезновению, либо, наоборот, к длительному сохранению. Резкое преобладание случаев с максимальной продолжительностью гололёда.

3.3 Анализ случаев кристаллической изморози в Екатеринбурге

За период с 1978 по 2023 года наблюдалось всего 3068 случаев. Распределение количества случаев по месяцам представлено на рисунке 3.14

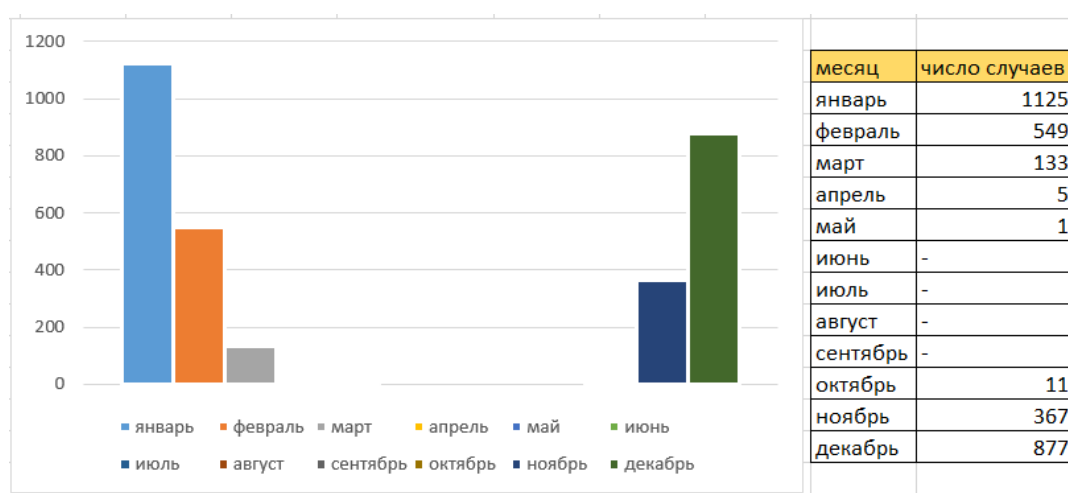


Рисунок 3.14 – Распределение количества случаев кристаллической изморози по месяцам

Анализ данных позволяет говорить о том, что в Екатеринбурге резко сокращение случаев наблюдается с апреля месяца и полное отсутствие наблюдений за кристаллической изморозью в летний период.

Минимальное количество наблюдений за явлением было в мае – 1 случай – 19 мая 1992 году.

В апреле было зафиксировано 5 случаев наблюдения за изморозью (рисунок 3.15).

1 день в 1980 году – в ночные сроки.

1 день в 1988 году – в ночные сроки.

станции	год	месяц	день	срок	мест.в.	№ атм.	сдвиг	интенс	время	время конца	продолжительнос
28440	1980	4	8	0	5	3	13	0	23,3	0	0,5
28440	1980	4	8	3	8	1	13	0	0	3	3
28440	1980	4	8	6	11	3	13	0	3	4,2	1,2
28440	1988	4	21	0	5	3	13	0	23,55	0	0,05
28440	1988	4	21	3	8	2	13	0	0	2,25	2,25

Рисунок 3.15 – Фрагмент данных, показывающий вывод о наличии случаев кристаллической изморози в апреле

Екатеринбург, 8 апреля 1980 года находился в зоне барического гребня.
8 апреля наблюдалась облачность 2-3 балла, ветер южный со скоростью 1-2 м/с.

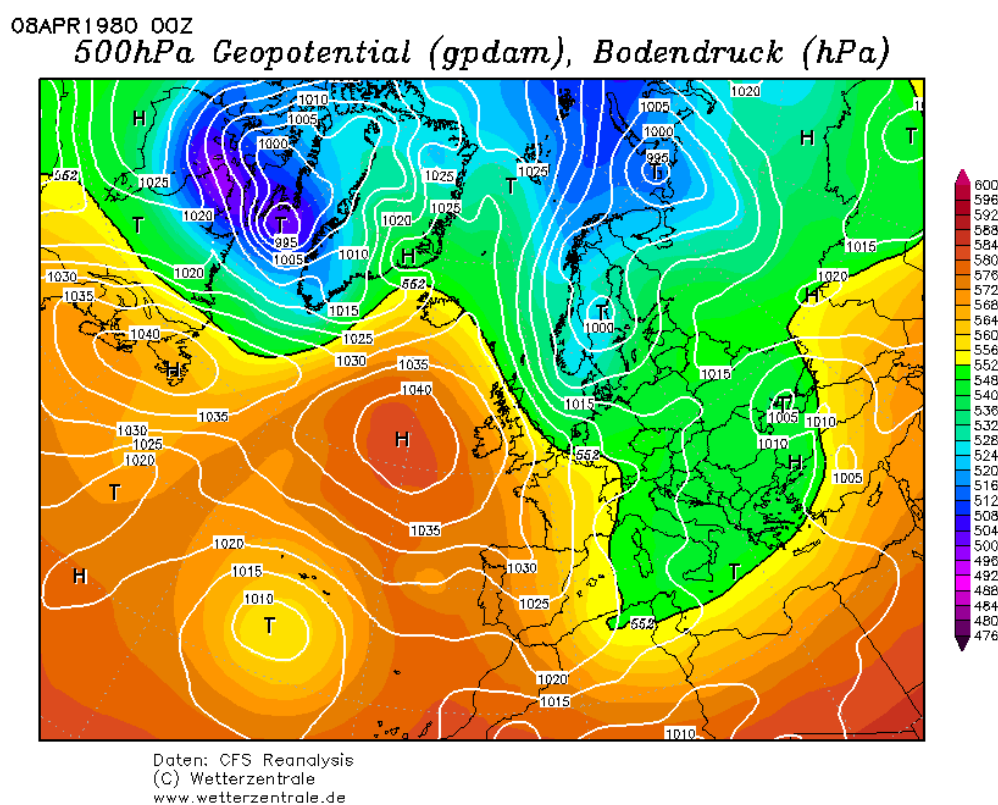


Рисунок 3.16 – Синоптическая карта за 8 апреля 1980 г.

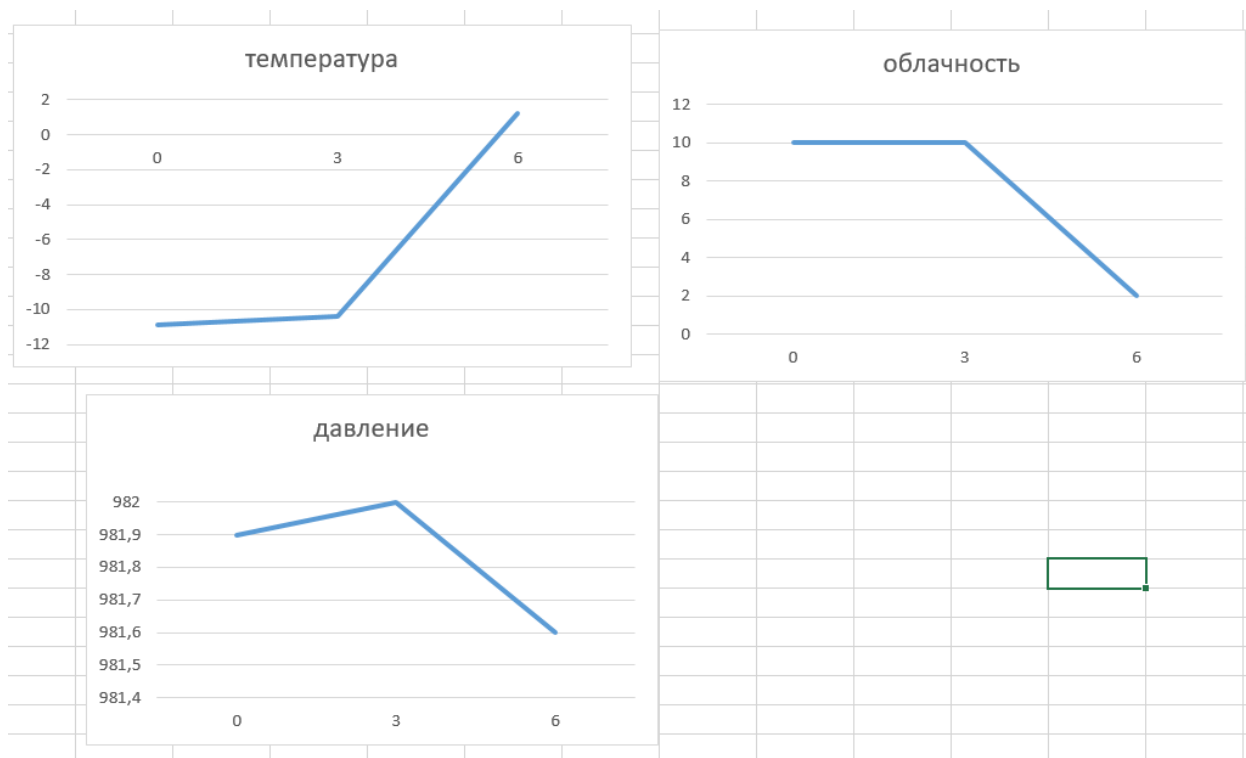


Рисунок 3.17 – Графики метеопараметров за 8 апреля 1980 г.

Исходя, из таблицы, изображенной на рисунке 3.18 – Распределение явления кристаллической изморози по периодам лет. Анализ говорит о том, что пик случаев приходился на промежуток 1986 по 1995 года, далее наблюдается тенденция снижения число случаев явления.

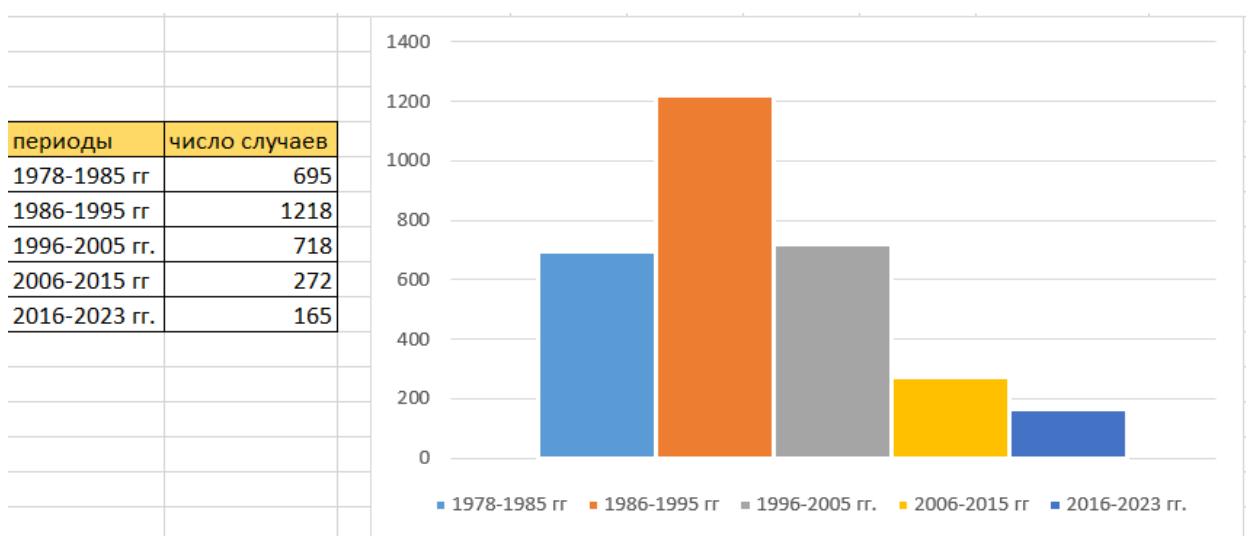


Рисунок 3.18 – Распределение явления кристаллической изморози по периодам лет

На графике 3.5 – Динамика количества случаев по годам. Наблюдается общая тенденция к снижению количества случаев кристаллической изморози с течением времени.

В период (1978-2008) года наблюдается более высокая частота случаев кристаллической изморози, хотя и с значительными колебаниями от года к году. Максимальное число в 1986 году – 204 случая.

В период (2008-2023) года наблюдается существенное снижение количества случаев. Значения в большинстве лет значительно ниже, чем в первом периоде. Минимальное количество – в 2007 году – 5 случаев, в 2009 году явление не наблюдалось.



График 3.5 – Динамика количества случаев по годам

На графике 3.6 – Распределение количества случаев в зависимости от времени. Наибольшее число случаев кристаллической изморози наблюдается в диапазоне с 8:00 до 11:00. Эти утренние часы характеризуются наиболее благоприятными условиями для образования изморози.

Начиная с ночных часов (02:00) наблюдается постепенное увеличение числа случаев изморози к утру (05:00 и 08:00).

После 11:00 наблюдается существенное снижение числа случаев кристаллической изморози. Минимальные значения приходятся на 20:00 часов вечера – 152 случая. Ближе к полночи – 23:00 часов наблюдается небольшое увеличение числа случаев изморози по сравнению со значениями в вечернее время.

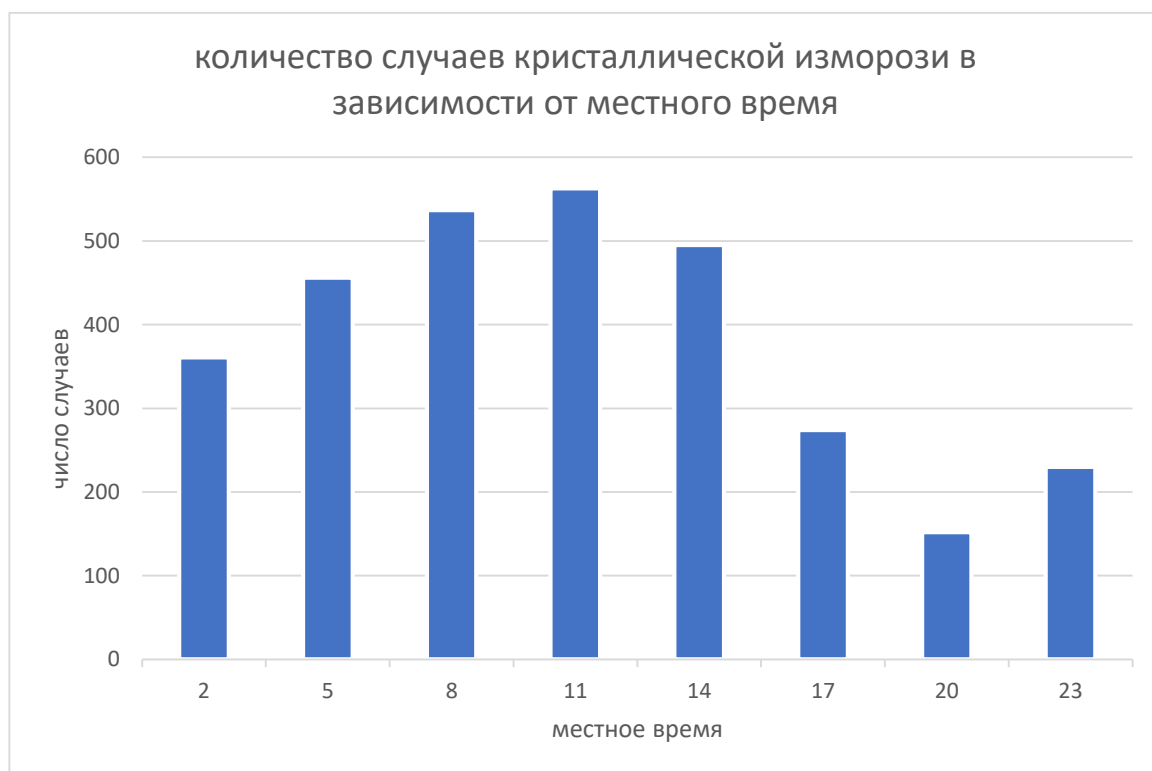


График 3.6 – Распределение количества случаев в зависимости от времени

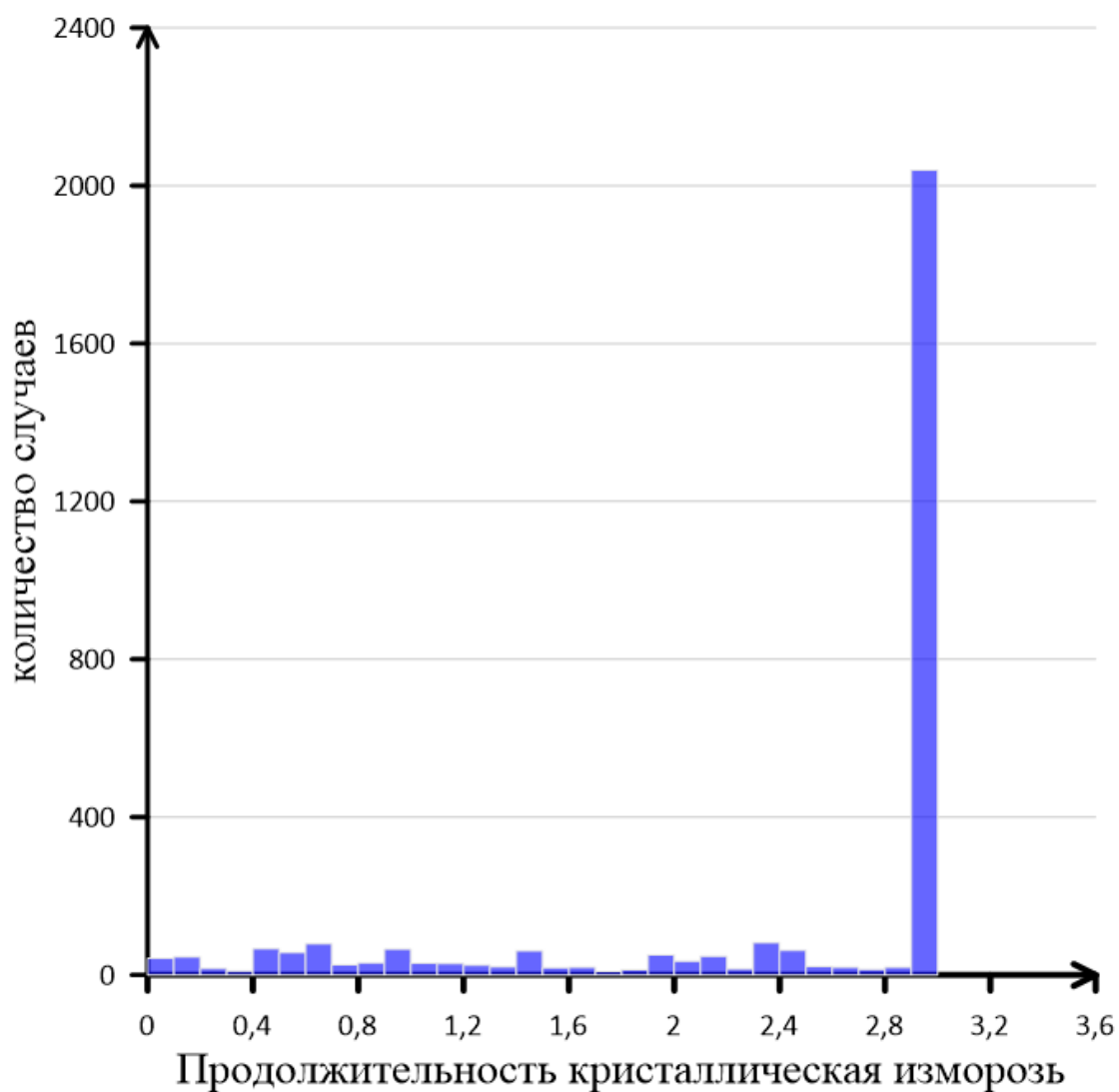


Рисунок 3.19 – Распределение количества случаев в зависимости от продолжительности явления

График, представленный на рисунке 3.19, показывает высокую концентрацию случаев при продолжительности явления кристаллической изморози около 3,0 единиц, в сравнение с другими значениями продолжительности.

3.4 Анализ случаев зернистой изморози в Екатеринбурге

За период с 1978 по 2018 года наблюдалось всего 230 случаев. Небольшое количество наблюдений, связано с пропусками нескольких лет, в

разные промежутки времени. Распределение количества случаев по месяцам представлено на рисунке 3.20.

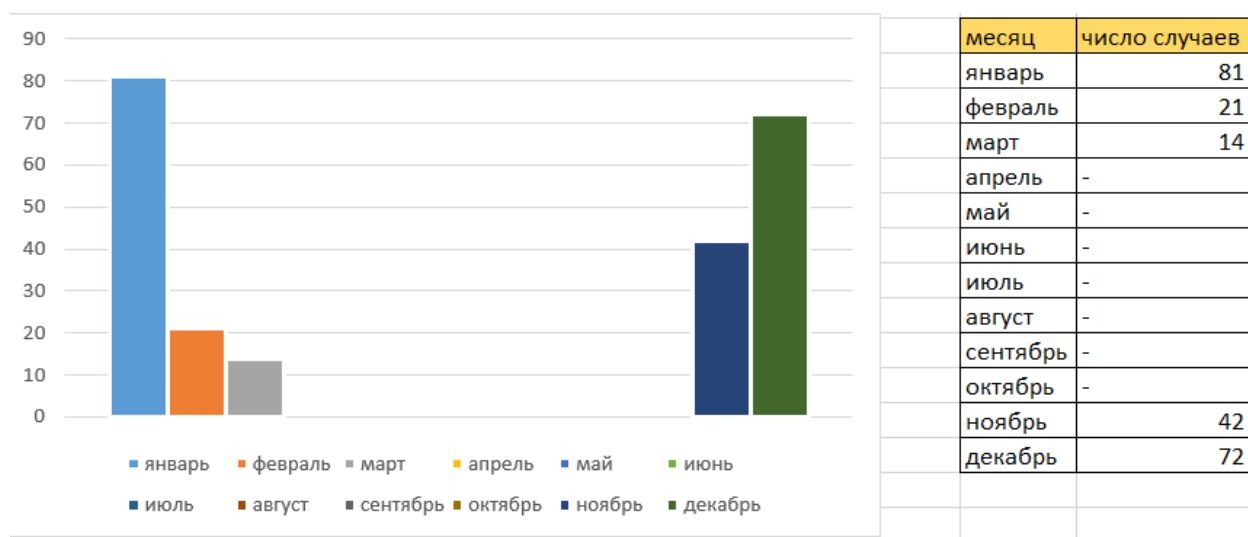


Рисунок 3.20 – Распределение количества случаев зернистой изморози по месяцам

Анализ данных показывает то, что в Екатеринбурге явления наблюдается осенне-зимний период.

Минимальное количество было в – марте – 14 случаев, а именно:

В 1983, 1985, 1994, 2008 по 1 дню, в перечисленных годах – в ночные сроки,

На рисунке 3.21 представлен фрагмент таблицы, который демонстрирует вывод о наличие случаев зернистой изморози в марте.

станции	год	месяц	день	срок	мест.в	№ атм.	шифт а	интенс	время	время конца	продолжительность
28440	1983	3	7	0	5	4	14	0	21,45	0	2,15
28440	1983	3	7	3	8	2	14	0	0	3	3
28440	1983	3	7	6	11	2	14	0	3	6	3
28440	1983	3	7	9	14	3	14	0	6	6,05	0,05
28440	1985	3	8	0	5	3	14	0	23,4	0	0,2
28440	1985	3	8	3	8	3	14	0	0	3	3
28440	1985	3	8	6	11	2	14	0	3	6	3
28440	1985	3	8	9	14	2	14	0	6	6,4	0,4
28440	1994	3	17	0	5	3	14	0	23,4	0	0,2
28440	1994	3	17	3	8	2	14	0	0	3	3
28440	1994	3	17	6	11	2	14	0	3	5,3	2,3
28440	2008	3	11	3	8	2	14	0	2	3	1
28440	2008	3	11	6	11	1	14	0	3	6	3
28440	2008	3	11	9	14	1	14	0	6	6,1	0,1

Рисунок 3.21 – Фрагмент таблицы случаев явления в марте

Рассмотрим синоптическую ситуацию за 11 марта 2008 года (рисунок 3.22).

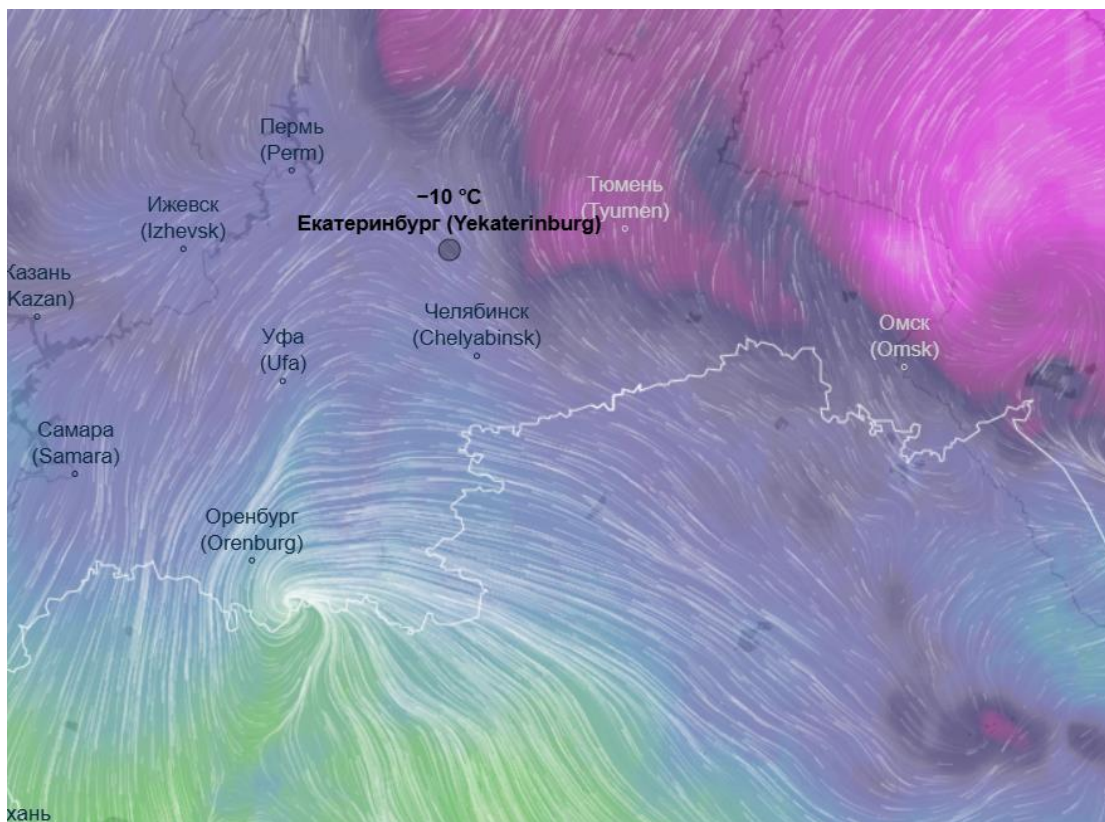


Рисунок 3.22 – Синопогическая ситуация за 11 марта 2008 год

Территория Екатеринбурга 11.03.2008 г. находилась под влиянием передней части циклона с центром в районе Казахстана с давлением – 1010,5 гПа, изменение давление за сутки – 4 Гпа. Циклон за прошедшие сутки смещался на восток. 11.03.2008 года в г. Екатеринбурге наблюдалась облачность 10 баллов, ветер юго-восточный со скоростью 1-2 м/с.

2008- 11 марта, вторник	11	-6.4	741.8	768.8	86	Ветер, дующий с юго- запада (1 м/с)	90 или более, но не 100 %	Ливневый снег слабый в ряде наблюдения или за последний час.	Ливень (ливень)	Снег и/или другие виды твердых осадков	-9.0	Кучево- дождевые высокие (часть с нависшими), либо с кучево- дождевыми лысками, кучевыми, слоистыми, разорвано- дождевыми, либо без них.	70 – 80 %	300-600	Перистые (часть в виде гололедицы) и перисто-слоистые, распространяющиеся по небу и в целом обычно уплотненные; сплошная пелена, поднимающаяся над горизонтом выше 45°, не покрывает всего неба.	8.0	-8.3	Следы осадков	12				
	08	-8.8	742.2	769.6	95	Ветер, дующий с юго- востока (1 м/с)	100 %	Туман с отложением капель, либо видне	Снег и/или другие виды твердых осадков	Туман или дымной туман или сильный туман		Слоисто- кучевые, образовавшиеся не из кучевых.	100 %	300-600	Высококучевые башеннообразные или хлопьевидные	Перисто-кучевые одни или перисто- кучевые сопровождаемые перистыми или перисто-слоистыми, либо те и другие, но перисто-кучевые преобладают среди них.	0.5	-9.5	Следы осадков	12	Сухая	Равный слой сухого расчетного снега покрывает поверхность почвы полностью.	48
	05	-9.0	742.6	770.0	88	Ветер, дующий с юго- востока (2 м/с)	90 или более, но не 100 %	Ливневый снег или ливневый дождь и снег.	Ливень (ливень)	Облака покрывали более половину неба в течение всего соответствующего периода.		Кучево- дождевые лысье с кучевыми, слоисто- кучевыми или слоистыми, либо без них.	90 или более, но не 100 %	600-1000			10.0	-10.6					
	02	-8.6	743.2	770.6	83	Ветер, дующий с юго- востока (2 м/с)	60 %	Состояние облаков в общем не изменялось.	Ливень (ливень)	Облака покрывали более половину неба в течение всего соответствующего периода.		Кучево- дождевые лысье с кучевыми, слоисто- кучевыми или слоистыми, либо без них.	20 – 30 %	600-1000	Перистые (часть в виде гололедицы) и перисто-слоистые, распространяющиеся по небу и в целом обычно уплотненные; сплошная пелена, поднимающаяся над горизонтом выше 45°, не покрывает всего неба.	10.0	-11.0						

Рисунок 3.23 – Состояние погоды на 11 марта 2008 год



Рисунок 3.24 – Графики метеопараметров за 11.03.2008 г.

Ранее было сказано, что в наблюдениях были пропуски несколько лет – 18 лет, а именно, в периоды:

По одному году в 1982,1991,1993,1997,2012,
 1987-1988 год,
 2001-2004 год,
 2006-2007 год,
 2009-2010 год,
 2014-2016 год.

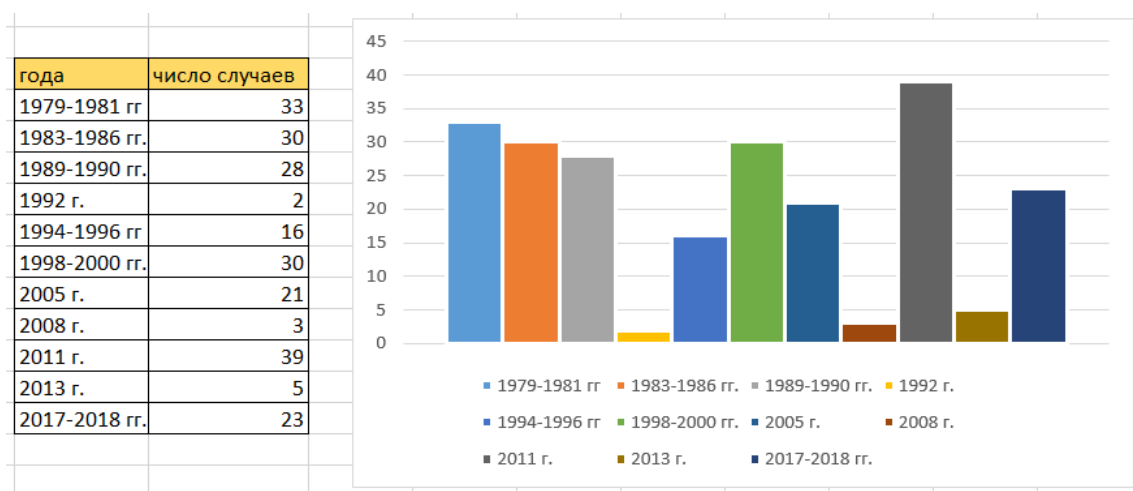


Рисунок 3.25 – Распределение количества случаев по периодам лет

Исходя, из таблицы, изображенной на рисунке 3.25 – Распределение количества случаев явления по периодам лет. Видно, что высокий пик приходится на 2011 год. Второй, по величине, пик приходится на период 1979-1981 гг. В некоторые годы/периоды число случаев значительно ниже, особенно выделяется 1992 год (2 случая) и 2008 год (3 случая), а также в 2013 году (5 случаев).

Число случаев сильно варьируется от года к году и от периода к периоду, что указывает на отсутствие четкой стабильной тенденции.

Анализ по периодам:

- 1979-1990 гг.: в этот период в целом наблюдается относительно высокое число случаев, хотя есть небольшое снижение к концу периода.
- 1992-2008 гг.: этот период характеризуется значительной переменчивостью. Число случаев резко снижается в 1992 году, затем постепенно возрастает к 1998-2000 гг., снова снижается в 2005 и 2008 гг.
- 2011-2018 гг.: наблюдается пик в 2011 году, затем резкое снижение в 2013 и последующий небольшой рост к 2017-2018 гг.



График 3.7 – Динамика количества случаев по годам

На графике 3.7 – Динамика количества случаев по годам, наблюдается значительная изменчивость от года к году, но из-за частых пропусках в наблюдениях трудно определить какой-либо чёткий тренд.

Количество случаев зернистой изморози в год в основном колеблется от 0 до 15, с несколькими пиками, превышающими это значение. Максимальное количество в 2011 году – 39 случаев. Минимум – в 1999 году один случай.

На графике 3.8 – Распределение количества случаев в зависимости от времени. Наибольшее число случаев зернистой изморози наблюдается в середине дня, в диапазоне с 11:00 до 14:00. После 14:00 наблюдается существенное снижение числа случаев зернистой изморози., минимальное количество в 20:00 часов (21 срок) – 16 случаев.



График 3.8 – Распределение количества случаев в зависимости от времени

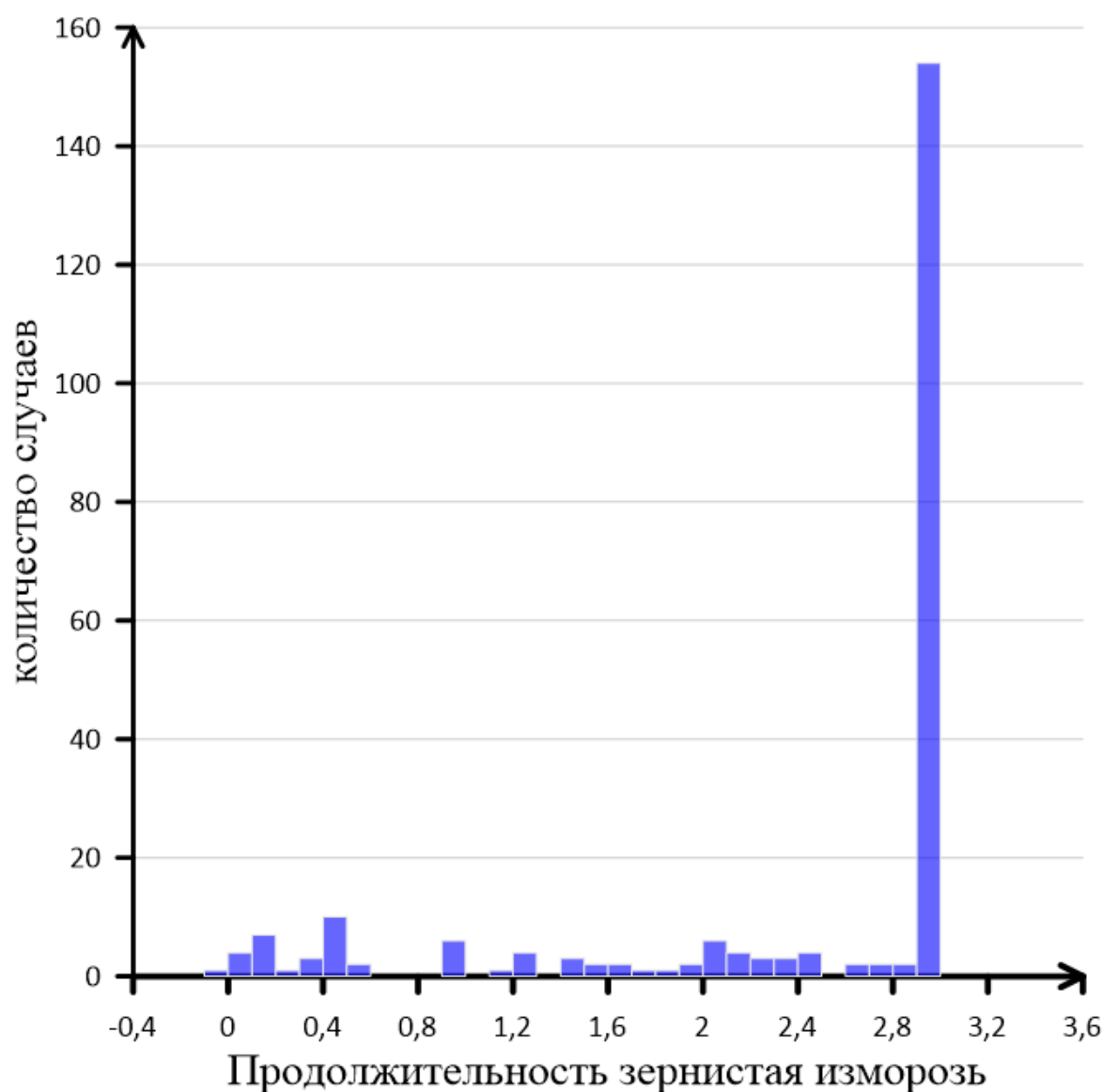


Рисунок 3.26 – Распределение количества случаев в зависимости от продолжительности явления

На графике, изображенном на рисунке 3.26, преобладает показатель равный 3,0 единицам, соответствующий продолжительности зернистой изморози. Количество случаев при этом значении значительно превышает все остальные, достигая отметки приблизительно в 155 случаев. Это говорит о том, что зернистая изморозь с такой продолжительностью встречается наиболее часто в исследуемых данных.

Для большинства других значений продолжительности зернистой изморози (от -0.4 до 3.6, за исключением значения вблизи 3.0) количество

случаев остается относительно невысоким. Столбцы, представляющие эти значения, находятся на низком уровне, что указывает на меньшую вероятность их возникновения.

В диапазоне от -0.4 до примерно 2.5 наблюдаются небольшие колебания количества случаев, однако общий уровень остается низким. Это свидетельствует о том, что зернистая изморозь с различной непродолжительностью встречается не совсем равномерно, но все же относительно редко по сравнению со случаями с продолжительностью около 3.0.

3.5 Анализ случаев гололедицы в Екатеринбурге

За период с 1978 по октябрь 2024 года наблюдалось всего 4894 случаев. Распределение количества случаев гололедицы по месяцам представлено на рисунке 3.27.

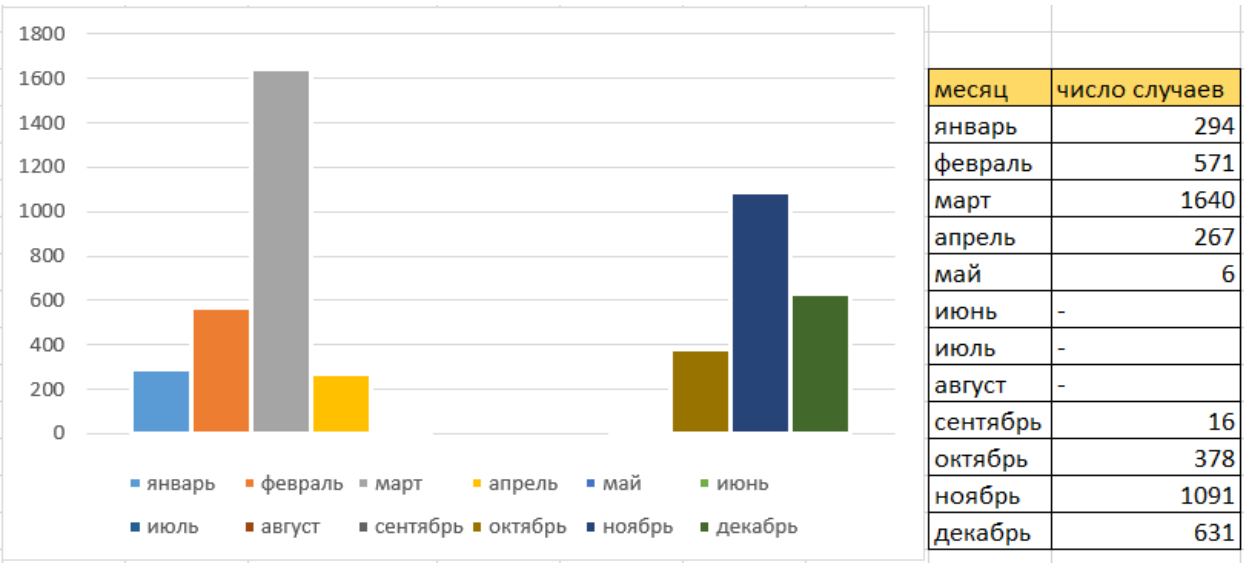


Рисунок 3.27 – Распределение количества случаев гололедицы по месяцам

Анализ данных демонстрирует, что в Екатеринбурге в летний период явление гололедицы не наблюдалось.

Гололедица наблюдалась в мае – 6 случаев, когда гололедица образовывалась в ночные сроки, а именно:

В 1986 году – 2 дня, началась 4 числа в 21 срок и закончилась 5 числа в 03 срок.

В 2019 году – 1 день, 1 мая начиная с 00 по 06 срок.

На рисунке 3.28 представлен фрагмент таблицы, который иллюстрирует вывод о наличии случаев явления в мае.

станции	год	месяц	день	срок	мест.в.	№ атм.	шифт а	интенс	время	время кон	продолжительнос
28440	1986	5	4	21	2	5	18	1	20,3	21	0,5
28440	1986	5	5	0	5	3	18	1	21	0	3
28440	1986	5	5	3	8	2	18	1	0	1,3	1,3
28440	2019	5	1	0	5	1	18	1	21	0	3
28440	2019	5	1	3	8	1	18	1	0	3	3
28440	2019	5	1	6	11	1	18	1	3	3,28	0,28

Рисунок 3.28 – Фрагмент данных, иллюстрирующий случаи в мае.

Возьмем один из дней и рассмотрим синоптическую ситуацию за 1 мая 2019 г. которая поспособствовала возникновению гололедицы в мае 2019 года. На рисунке 3.29 представлена синоптическая карта.

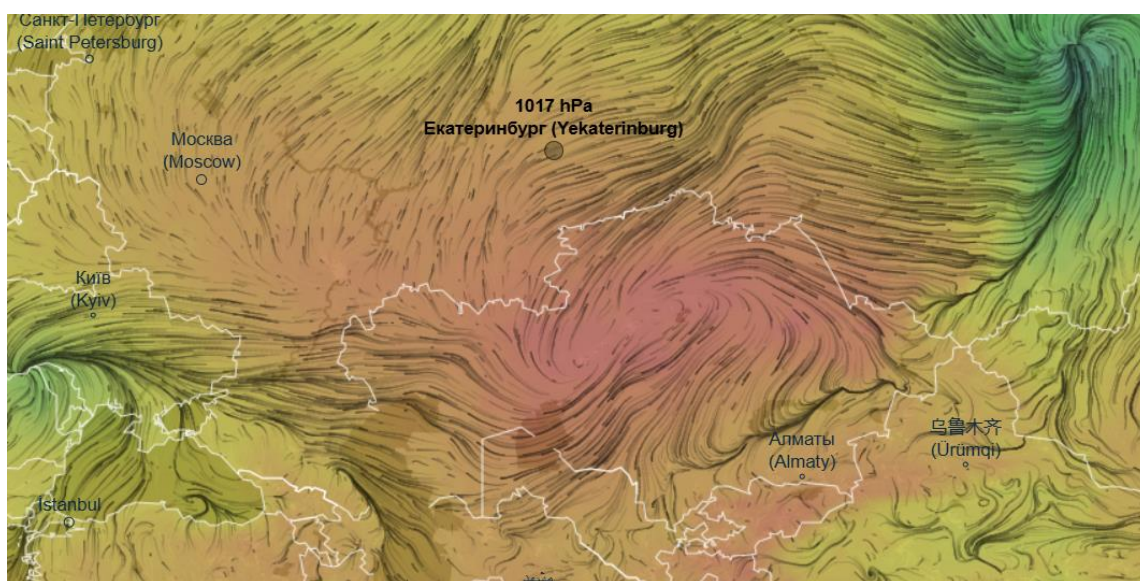


Рисунок 3.29 – Синоптическая карта за 01.05.2019 г.

01 мая 2011 года Екатеринбург находился в гребне антициклона с центром в г. Омске с давлением – 1026 гПа, изменение давления за сутки на 5 гПа. Антициклон за прошедшие сутки смещался на юго-восток. 1 мая 2011 года в Екатеринбурге наблюдалась облачность 2-3 балла, ветер юго-западный со скоростью 1-2 м/с.

2019г. 1 мая, среда	14	5.5	737.0	762.7	-0.3	29	Ветер, дующий с запада	Легкий ветер (3 м/с)	12 м/с	70 – 80 %				Кучевые и слоисто-кучевые (но не слоисто-кучевые, образовавшиеся из кучевых), основаны, расположены на разных уровнях.	70 – 80 %	600-1000	Высококучевых, высокослоистых или слоисто-дождевых облаков нет.	Перистые нитевидные, иногда котвевидные, не распространяющиеся по небу.	50.0	-11.2				
	11	3.6	737.3	763.3	0.0	33	Ветер, дующий с запада	Слабый ветер (5 м/с)		90 или более, но не 100 %			Кучево-дождевые лапы с кучевыми, слоисто-кучевыми или слоистыми, либо без них.	90 или более, но не 100 %	600-1000	Высококучевых, кучевых или слоисто-дождевых облаков нет.	Перистых, перисто-кучевых или перисто-слоистых нет.	50.0	-11.4					
	08	-0.2	737.3	763.6	0.3	48	Ветер, дующий с западо- юго- запада	Тихий ветер (1 м/с)		70 – 80 %	-3.2		Кучево-дождевые лапы с кучевыми, слоисто-кучевыми или слоистыми, либо без них.	40 %	600-1000	Высококучевых, высокослоистых или слоисто-дождевых облаков нет.	Перистые (часто в виде полос) и перисто-слоистые, распространяющиеся по небу и в целом обычно уплотняющиеся, но слоистая пелена поднимается над горизонтом менее чем на 45°.	20.0	-10.1	Осадков нет	12	Снегающий или морозный снег (со льдами или без него), покрывающий по крайней мере половину поверхности почвы, но почва не покрыта полностью.	1	
	05	-2.9	737.0	763.6	0.1	58	Ветер, дующий с юго- запада	Тихий ветер (1 м/с)		20 – 30 %			Слоисто-кучевые, образовавшиеся не из кучевых.	20 – 30 %	600-1000	Высококучевых, высокослоистых или слоисто-дождевых облаков нет.	Перистых, перисто-кучевых или перисто-слоистых нет.	10.0	-10.2					
	02	-1.5	736.9	763.3	-0.2	51	Ветер, дующий с запада	Легкий ветер (2 м/с)		20 – 30 %			Слоисто-кучевых, слоистых, кучевых или кучево-дождевых облаков нет.	Облаков нет	2500 или более, или облаков нет	Высококучевых, высокослоистых или слоисто-дождевых облаков нет.	Перистые (часто в виде полос) и перисто-слоистые, распространяющиеся по небу и в целом обычно уплотняющиеся, но слоистая пелена поднимается над горизонтом менее чем на 45°.	10.0	-10.4					
30 апреля, вторник	23	0.1	737.1	763.3	0.7	44	Ветер, дующий с запада	Легкий ветер (2 м/с)		Облаков нет									10.0	-10.7				

Рисунок 3.30 – Состояние погоды на 1 мая 2019 год.

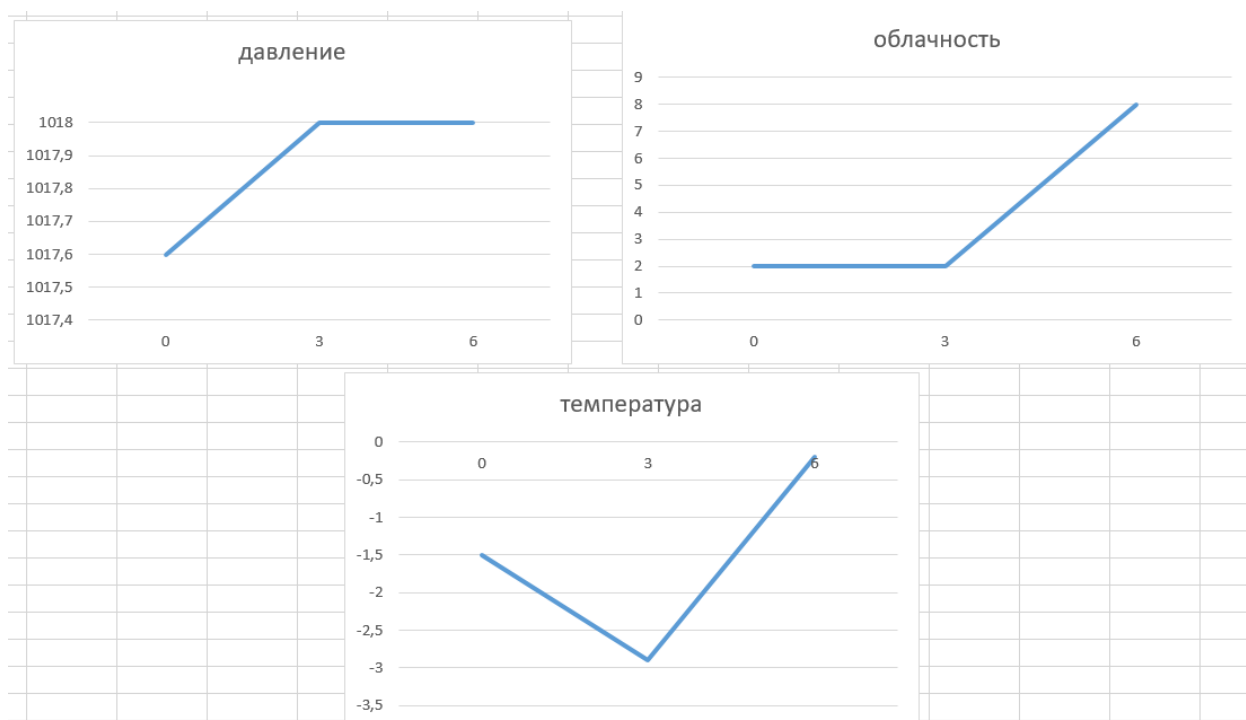


Рисунок 3.31 – График по метеопараметрам за 1 мая 2019 г.

Из таблицы, изображенной на рисунке 3.32 – Распределение явления гололедицы по периодам лет.

Наибольшее число случаев (1646) приходится на период с 2016 по 2024 год. Второй по величине показатель (1243) наблюдается в период с 1996 по 2005 год. На эти периоды приходили, скачки повышения средних температур.

Самое низкое число случаев (253) приходится на период с 1986 по 1995 год. Этот период значительно отличается от других своей низкой активностью.

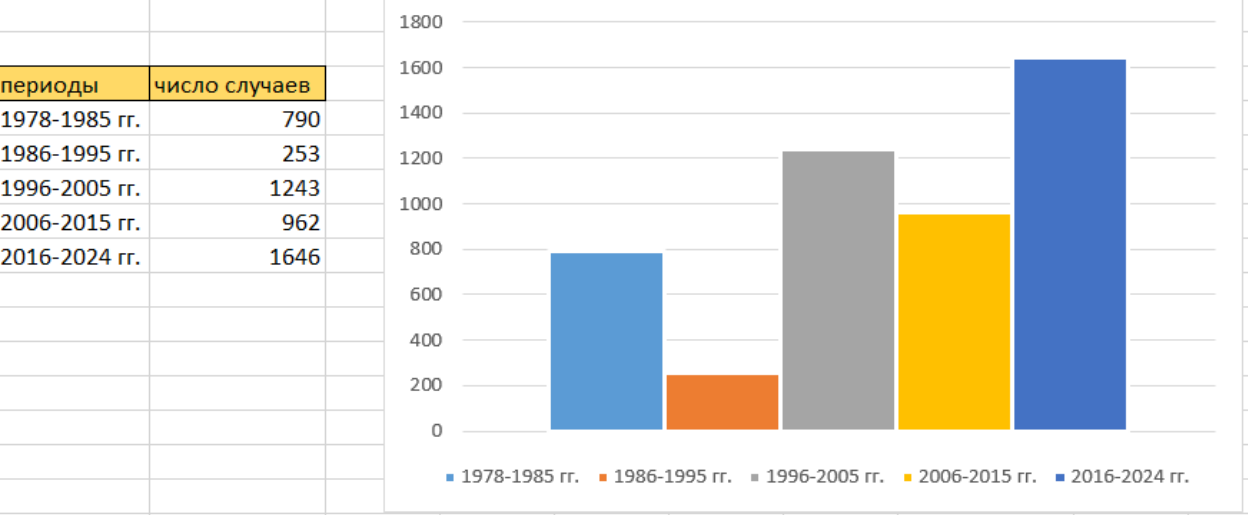


Рисунок 3.32 – Распределение явления гололедицы по периодам лет

На графике 3.9 – Динамика количества случаев по годам. В период 1978-1997 гг. наблюдается относительно небольшое количество случаев гололедицы с максимальным пиком – 261 – в 1982 году. Начиная с 1998 года, наблюдается увеличение частоты и высоты пиков, что указывает на рост числа случаев гололедицы. Максимальное количество случаев – было выявлено в 202 году – 315. Минимальное в 2012 году – 26.



График 3.9 – Динамика количества случаев по годам

На графике 3.10 – Распределение количества случаев в зависимости от времени. Наибольшее число случаев наблюдается в период с 5:00 до 11:00, с пиком в 08:00 в 735 случаев. После 11:00 наблюдается снижение числа случаев, с минимальными значениями, около 400, в 17:00 часов. И начиная, с 20:00 часов, наблюдается увеличение числа случаев, достигающее значения, близкого к утренним значениям 600 в 23:00 часов.



График 3.10 – Распределение количества случаев в зависимости от времени

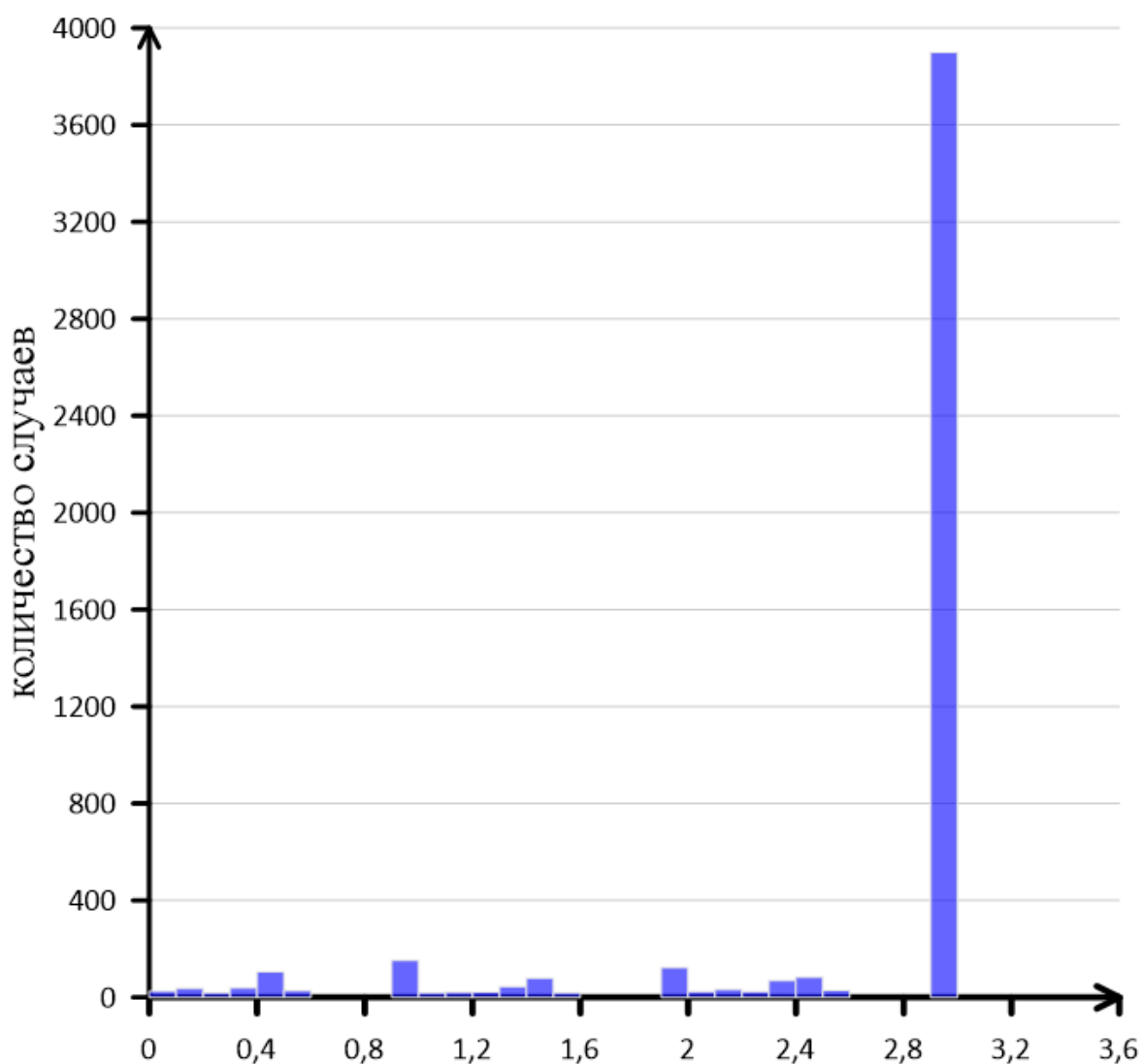


Рисунок 3.33 – Распределение количества случаев в зависимости от продолжительности

График, изображенный на рисунке 3.33, характеризуется доминированием одного столбца, соответствующего значению 3.0. Высота этого столбца значительно превышает высоту всех остальных, достигая значения примерно в 3900 случаев. Это указывает на резкую концентрацию "случаев" при данной продолжительности.

Для всех остальных значений продолжительности (от 0 до 3.6, за исключением 3.0) количество случаев остаётся крайне низким. Значения в этих точках расположены близко к нулю, что свидетельствует о малой вероятности их возникновения.

Заключение

Гололедно-изморозевые отложения представляют собой опасные метеорологические явления, существенно влияющие на безопасность дорожного движения, устойчивость линий электропередачи, функционирование городской инфраструктуры и объекты авиации. В настоящей работе была проведена комплексная оценка условий, способствующих формированию данных явлений, с учётом физико-географических особенностей территории города Екатеринбурга.

В ходе анализа было установлено, что наиболее интенсивное образование гололеда и изморози происходит при специфических сочетаниях термодинамических и циркуляционных факторов. Ключевую роль играют инверсионные профили температуры, высокая влажность воздуха, слабый ветер, а также прохождение фронтальных систем, сопровождаемых осадками в переохлаждённой фазе. Установлено, что формирование гололёда чаще всего связано с тёплыми фронтами и вторжением тёплого воздуха над холодной поверхностью, в то время как изморозь и иней преимущественно возникают в условиях антициклона и ночного радиационного охлаждения.

Особое внимание было уделено различиям между формами отложений — инеем, кристаллической и зернистой изморозью, а также гололёдом и гололедицей. Показано, что каждый тип отложений формируется в уникальных синоптических условиях, но при этом имеет ряд общих черт, связанных с наличием влаги и отрицательной температурой поверхности.

На основе синоптического анализа конкретных случаев в Екатеринбурге выявлены типовые метеорологические сценарии, благоприятствующие интенсивному образованию отложений. Эти результаты могут быть

использованы при оперативном прогнозировании опасных метеоявлений и разработке предупредительных мер в сфере транспорта и энергетики.

Таким образом, полученные в ходе исследования данные подтверждают актуальность и практическую значимость изучения условий формирования гололедно-изморозевых явлений, особенно в климатических условиях Урала, где такие процессы наблюдаются ежегодно в холодный сезон.

Список используемых источников

1. Литвинов И. В. Формирование и преобразование атмосферных осадков на подстилающей поверхности / И.В. Литвинов. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 232 с.
2. Драневич Е.П. Гололед и изморозь / Е.П.Драневич – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 228 с.
3. Белоусов С.Л. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Часть 1 / С. Л. Белоусов [и др.] – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 704 с
4. Хромов С.П. Метеорологический словарь / С.П. Хромов. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 568 с.
5. Бургсдорф В.В. О физике гололедно–изморозевых явлений / Труды ГТО. им. А.И. Воейкова – 1947 – Вып.3(65).
6. Заморский А.Д. Иней. Изморозь. Гололед / А.Д. Заморский. – Л.: Гидрометеиздат, 1951. – 64 с.
7. Зверев А.С. Синоптическая метеорология / А.С. Зверев. – Л.: Гидрометиздат, 1977 – 712 с.
8. Хромов С.П., Петросянц М.А. «Метеорология и климатология» Издательство МГУ, 2015 г. 585 с.
9. Всероссийский научно–исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. Специализированные массивы. URL: <http://www.meteo.ru> (дата обращения: 03.04.2025 г.)
10. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения / ФГБУ «Гидрометцентр России» / рд 52.27.724 – 2019

Интернет- ресурсы:

1. https://moodle.rshu.ru/pluginfile.php/236084/mod_resource/content/1/УЧ%20ПОСОБИЕ%20МО%20Отл%20отраслей%20экономики.pdf

2. <https://szf.aviamettelecom.ru/wp-content/uploads/2014/02/Наставление-вып.-3-ч.-1.pdf>
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Екатеринбург>
4. <https://www.wetterzentrale.de/reanalysis.php?map=1&model=cfsr&var=1&jar=1980&maand=04&dag=08&uur=0000&h=0&tr=360&nmaps=24#mapref>
(Дата обращения: 12.05.2025 г.)
5. https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Екатеринбурге (12.05.2025 г.)
6. <https://www.ventusky.com/?p=55.9;55.9;5&l=temperature-2m&m=ecmwf&w=soft> (Дата обращения 13.05.2025 г.)