



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: «Конвективные явления в районе г. Ижевск»

Исполнитель Кузнецова Ульяна Алексеевна
(фамилия, имя, отчество)

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

Лаврова Ирина Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

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

Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

« 7 » июня 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Климатические особенности Республики Удмуртии и города Ижевска.....	5
Глава 2. Общая информация о конвекции и условиях образования конвективных явлений	7
2.1 Физические условия развития конвективных явлений погоды	7
2.2 Аэросиноптические условия образования конвективной облачности, ливней и гроз	9
2.2.1 Тыловая часть циклона.	9
2.2.2. Заполняющаяся депрессия.	10
2.2.3. Тыловая (западная) часть антициклона.....	10
2.2.4. Ослабевающий антициклон.	11
2.3. Характеристика, условия образования и прогноз гроз.....	11
2.3.1. Характеристика и классификация гроз	11
Глава 3. Методы прогноза гроз	14
2.1. Прогноз гроз методом частицы	14
2.2. Метод Вайтинга.....	14
2.3 Индексы неустойчивости Total Totals, Vertical Totals и Cross Totals	15
Глава 4. Анализ конвективных явлений в городе Ижевск.....	18
4.1. Описание исходных данных	18
4.2. Распределение количества конвективных явлений по месяцам.....	19
4.3. Распределение количества конвективных явлений по годам.	21
4.4. Анализ синоптических ситуаций при образовании гроз.	22
4.5. Оправдываемость прогноза гроз по индексам неустойчивости	46
4.6. Оправдываемость прогноза гроз по индексам неустойчивости для случаев с Сb облачностью, когда грозы не было.	47
4.7. Расчёт общей оправдываемости прогнозов гроз	54
Заключение	57
Литературные источники.....	58

Введение

Современную деятельность человека невозможно представить без фактических сведений о состоянии атмосферы. Точность метеорологических наблюдений позволяет качественно и своевременно контролировать изменения в окружающей среде, а также обеспечивает метеорологической информацией различные отрасли хозяйственной деятельности. Изученные законы и закономерности в развитии атмосферных процессов используются сейчас для решения различных практических задач, среди которых важнейшей является предсказание (прогноз) погоды. Изучение причин возникновения конвективных метеорологических явлений погоды является актуальной темой вследствие того, что опасные явления могут наносить ущерб различным отраслям экономики. Поэтому так важно исследовать их условия формирования совершенствовать методы их прогнозирования [1].

Актуальность: Конвективные процессы часто сопровождаются экстремальными погодными условиями, которые могут угрожать жизни людей и наносить значительный ущерб. Умение анализировать и прогнозировать конвективные явления спасает жизни, защищает экономику и помогает планировать деятельность в условиях изменчивой погоды.

Целью данной выпускной квалификационной работы является исследование конвективных явлений в городе Ижевске.

Эта цель реализуется путем выделения следующих задач:

1. Создать базу срочных данных и данных о конвективных явлениях (ливневой дождь, ливневой снег, град, гроза) за период с 1965 по 2023гг. по станции Ижевск;
2. Проанализировать распределение явлений по месяцам, годам и срокам, построить графики;
3. Описать метеорологические условия, при которых наблюдались грозы в районе Ижевска;

4. Проанализировать синоптические ситуации, когда наблюдалась грозовая облачность;
5. Рассчитать индексы неустойчивости атмосферы для случаев с грозой и без грозы;
6. Оценить успешность прогнозирования гроз по индексам неустойчивости.

Глава 1. Климатические особенности Республики Удмуртии и города Ижевска

Республика Удмуртия расположена на востоке Восточно-Европейской равнины, в Предуралье, входит в состав Приволжского федерального округа Российской Федерации. Столица – город Ижевск.

Климат Удмуртии умеренно-континентальный. Основное влияние на климат оказывает западный перенос с Атлантического океана, но не редко бывают арктические вторжения воздуха с Северно-Ледовитого океана. Зимой они приносят ясную и морозную погоду, а весной и осенью – заморозки. Вторжения континентального воздуха с юга приводят к сильной жаре и засухам.

Зима в Удмуртии начинается во второй половине ноября и длится около пяти месяцев. Погода зимой умеренно холодная, оттепели случаются редко и в основном вызваны интенсивными атлантическими вторжениями. Самый холодный месяц зимы – январь, со средними температурами около -14°C , нередко возможны морозы до -30°C . Максимальная высота снежного покрова наблюдается во второй половине марта и составляет около 60 см.

Весна в Республике Удмуртия приходится на начало апреля, когда начинает таять снежный покров. Погода преимущественно ясная и сопровождается большой амплитудой суточных температур. Снежный покров сходит во второй половине апреля. В середине мая среднесуточная температура поднимается выше $+10^{\circ}\text{C}$, но иногда возможны возвраты холодов. Это объясняется арктическими вторжениями, которые несут с собой сильные ветры, дожди, а иногда и снег. Заморозки могут наблюдаться до первой половины июня.

Лето начинается в первых числах июня и длится до августа. Оно характеризуется преимущественно тёплой и малооблачной погодой с преобладанием северо-западных ветров. Самым теплым месяцем лета является июль, когда средняя дневная температура воздуха составляет $+23^{\circ}\text{C}$, но часто бывает, что температура доходит и до $+35^{\circ}\text{C}$. В август характеризуется постепенным понижением температуры, так же начинаются осадки.

Осень наступает в начале сентября. В середине месяца среднесуточная температура становится ниже $+10^{\circ}\text{C}$, но возможны кратковременные возвраты тепла. В начале октября среднесуточная температура опускается ниже $+5$ градусов, преобладает пасмурная погода с морозящими дождями. В конце месяца может устанавливаться кратковременный снежный покров. В ноябре дожди сменяются снегопадами, и в конце месяца образуется устойчивый снежный покров.

Среднегодовое количество осадков в Удмуртии составляет около 500 мм и изменяется от 450 мм на юге до 600 мм на севере. Более 60% осадков выпадает в виде дождей в теплое время года[3].

В Ижевске умеренно-континентальный климат, характеризующийся тёплым летом и продолжительной зимой. Самый тёплый месяц – июль, средняя температура $+19^{\circ}\text{C}$. Самым холодным месяцем является январь, со средней температурой -12°C . Среднегодовое количество осадков составляет примерно 500 мм, с максимумом в августе, а минимумом – в феврале-марте.

Глава 2. Общая информация о конвекции и условиях образования конвективных явлений

Одним из видов вертикальных движений в атмосфере является конвекция. Атмосферная конвекция в теплое время года не только осуществляет вертикальный перенос тепла, водяного пара и количества движения, но и является основной причиной образования конвективных облаков: кучевых (Cu), мощных кучевых (Cu cong) и кучево-дождевых (Cb).

С кучево-дождевыми облаками связан комплекс наиболее опасных явлений погоды. Это ливневой дождь, град, сильный снегопад, «снежные заряды», гроза. К числу опасных проявлений конвективной деятельности относятся также шквалы и смерчи, которые обладают огромной разрушительной силой, приносят значительный материальный ущерб и нередко приводят к гибели людей. Восходящие и нисходящие движения в кучево-дождевых облаках могут вызывать катастрофические перегрузки и потерю управления летательным аппаратом. В верхней части этих облаков наблюдается сильное обледенение, в грозовых кучево-дождевых облаках возможно поражение самолетов и вертолетов молниями.

2.1 Физические условия развития конвективных явлений погоды

Конвективные вертикальные движения воздуха (или конвекция) возникают в результате действия на частицу сил плавучести, а также механических сил, обусловленных динамическими факторами. В первом случае образуется термическая, или свободная, конвекция, а во втором — вынужденная.

Основными причинами формирования термической конвекции в пограничном слое атмосферы являются неравномерный прогрев подстилающей поверхности и неустойчивая вертикальная стратификация

атмосферы. В этом случае перегретый объем воздуха начинает подниматься от исходного уровня, его температура падает с высотой медленнее, чем окружающего воздуха, и он оказывается теплее и легче относительно окружающей среды на уровнях выше исходного.

Вынужденная конвекция преимущественно наблюдается в зоне атмосферных фронтов и на наветренных склонах возвышенностей и гор. Воздух в этом случае вначале поднимается за счет упорядоченных вертикальных движений или за счет натекания потока на возвышенность, а выше уровня конденсации он поднимается за счет выделения теплоты конденсации, т. е. под воздействием термических причин.

Наибольшую опасность представляют кучево-дождевые облака. Их разделяют на три типа: одначейковые, многоячейковые и суперячейковые.

Одначейковые облака С_b развиваются при слабом ветре у поверхности земли в малоградиентном барическом поле. Они состоят из одной конвективной ячейки с восходящим потоком в центральной части. Чаще всего это ливневые облака.

Многоячейковые (мультиячейковые) кучево-дождевые облака состоят одновременно из нескольких ячеек, при этом каждая ячейка в фиксированный момент времени находится на различных стадиях своего развития. Многоячейковые облака С_b составляют до 30 % всех градовых очагов, с ними связаны также сильные ливни, грозы и шквалы.

Суперячейковые кучево-дождевые облака являются наиболее мощными и долгоживущими (до 4 часов). С ними связаны наиболее интенсивные грозы и катастрофические градобития. Суперячейки развиваются на холодных фронтах и холодных фронтах окклюзии при сильной неустойчивости атмосферы и больших сдвигах ветра. На правом фланге такой ячейки (по потоку) располагается зона мощного восходящего

потока, в которой скорости могут достигать 50 м/с. В тыловой части облака в зоне интенсивных осадков формируется нисходящий поток со скоростями до 20 м/с и более. Эти две зоны разделяет резко выраженный холодный мезофронт (линия шквалов), после прохождения которого давление и влажность воздуха растут, а температура резко падает.

2.2 Аэросиноптические условия образования конвективной облачности, ливней и гроз

Физические условия развития конвекции и связанные с ней явления погоды обусловлены в первую очередь аэросиноптическими условиями. В зависимости от характера синоптического положения конвективная облачность, ливни и грозы подразделяются на внутримассовые и фронтальные. Рассмотрим наиболее благоприятные синоптические условия для образования внутримассовых конвективных явлений.

2.2.1 Тыловая часть циклона.

В тыловой части циклонов, выходящих на материк в теплое время года, как правило, наблюдается морской арктический (МAB) или морской умеренный (МУВ) воздух. По мере продвижения над теплой подстилающей поверхностью холодный воздух быстро прогревается и становится неустойчивым. В МAB вследствие низких температур и небольшого влагосодержания атмосферы конвективная облачность не получает существенного вертикального развития. При достаточном его увлажнении, что в большинстве случаев наблюдается в весенний период при перемещении над влажной подстилающей поверхностью, из Сб могут выпадать ливневые осадки. В МУВ температура воздуха выше и влагосодержание больше, поэтому для данной воздушной массы характерно образование мощных кучевых и кучево-дождевых облаков, а при продвижении в южные широты его неустойчивость возрастает и в данном воздухе могут наблюдаться грозы.

2.2.2. Заполняющаяся депрессия.

Это малоподвижные циклоны, уже значительно заполнившиеся в нижних слоях, но хорошо выраженные в средней и верхней тропосфере. Циклон заполняется настолько, что появляются разрывы в облачности, в утренние часы наблюдается малооблачная погода. Это приводит к быстрому прогреву воздуха. Поскольку верхние слои воздуха подготовлены для развития конвекции, то происходит интенсивное развитие Сб. В то же время в результате прошедших в предыдущие дни обложных дождей поверхность почвы в области депрессии сильно увлажнена и становится источником непрерывного увлажнения атмосферы. Высокие значения массовой доли водяного пара q наблюдаются как у поверхности земли (7—12 г/кг), так и на высотах (на поверхности 700 гПа она достигает 3—6 г/кг, относительная влажность 60—80 %). В результате действия перечисленных факторов наступает продолжительный (до 5—7 суток) период ливневых дождей и гроз, охватывающих большие территории.

2.2.3. Тыловая (западная) часть антициклона.

Характер погоды при данном синоптическом положении может быть самым различным. В одних случаях наблюдается сухая жаркая погода, в других — погода с ливнями и грозами над значительными территориями. Неодинаковый характер погоды объясняется различными воздушными массами, наблюдающимися летом при данной синоптической ситуации. Если по западной периферии антициклона происходит вынос с южных районов морского тропического воздуха (МТВ), то, как правило, летом над материком это теплая неустойчивая воздушная масса. Следует отметить, что данный тип воздушной массы также характерен и для теплого сектора циклона, где может наблюдаться развитие Сб, ливней и гроз. Наиболее важными факторами, способствующими формированию неустойчивой стратификации и возникновению кучево-дождевой облачности, ливней и гроз, являются возрастание влажности воздуха как у земли, так и на высотах (относительная

влажность 70—80 % или $D \leq 1—3$ °C) и уменьшение адвекции теплого воздуха с высотой.

2.2.4. Ослабевающий антициклон.

В ослабевающих антициклонах в большинстве случаев распределение ливней и гроз носит очаговый характер. Лишь иногда создаются условия, благоприятные для массового развития ливневых осадков и гроз. Особенностью ослабевающих летних антициклонов являются высокие температуры у земной поверхности, достигающие в дневные часы 30 °C.

Поэтому главным фактором, приводящим к развитию конвективных явлений, является значительное увеличение влажности у поверхности земли за счет испарения с подстилающей поверхности. Для образования Сб необходимо наличие высоких значений точки росы у поверхности земли — не ниже 14—16 °C. Фронтальные кучево-дождевые облака обычно представляют собой не изолированные облака, а гряды, сосредоточенные вдоль линии фронта, и, как правило, являются более мощными, чем внутримассовые. Фронтальные ливни и грозы преимущественно связаны с холодными фронтами и фронтами окклюзии по типу холодного.

2.3. Характеристика, условия образования и прогноз гроз

Гроза представляет собой комплексное явление образования и развития кучево-дождевого облака, которое сопровождается многократными электрическими разрядами в виде молний и звуковым эффектом, называемым громом.

2.3.1. Характеристика и классификация гроз

Возникновение гроз тесно связано с развитием конвективной облачности, в которой наблюдаются интенсивные вертикальные движения, обуславливающие наличие интенсивных зон турбулентности и образование крупных ледяных кристаллов. Типичное развитие кучево-дождевых облаков

и выпадение из них осадков связано с мощными проявлениями атмосферного электричества, а именно с многократными электрическими разрядами в облаках или между облаками и Землей. По синоптическим условиям образования грозы делятся на внутримассовые и фронтальные.

Внутримассовые грозы наблюдаются двух типов: в холодных воздушных массах, перемещающихся на теплую земную поверхность, и над прогретой сушей летом. К первому типу относятся тыловая часть циклона и заполняющаяся депрессия. Ко второму типу относятся разрушающийся антициклон, а также западная периферия антициклона и теплый сектор циклона, когда в их области происходит адвекция теплого, влажного, неустойчивого морского тропического воздуха. Во всех случаях возникновение грозы связано с мощным развитием конвективных облаков, вызванным сильной неустойчивостью атмосферы. Внутримассовые грозы на суше обычно возникают в теплую половину года с максимумом развития во вторую половину дня. К вечеру над сушей они ослабевают и прекращаются, а над крупными водоемами ночью, как правило, усиливаются.

Фронтальные грозы по сравнению с внутримассовыми более интенсивны. Они наблюдаются на холодных фронтах, теплых участках атмосферных фронтов, фронтах окклюзии и в летнее время на холодных вторичных фронтах. Гроза характеризуется еще шквалистыми ветрами и ливневыми осадками, нередко с градом.

Различают:

- Сильная гроза - гроза с дождём ≥ 15 мм/ч и/или градом диаметром от 0.6 до 2 см, сильным шквалом ≥ 15 м/с.
- Очень сильная гроза - гроза с ливневым дождём ≥ 30 мм/ч и/или крупным градом диаметром ≥ 2 см и/или очень сильным шквалом ≥ 25 м/с или смерчем [5].

Наиболее часто фронтальные грозы возникают на холодном фронте 2-го рода. Это очень быстро перемещающийся фронт, в зоне которого восходящее движение теплого воздуха сосредоточено в более узком пространстве у передней части фронтальной поверхности и имеет характер мощного восходящего конвективного потока. Основную массу облаков холодного фронта 2-го рода составляют кучево-дождевые (Cb) и мощнокучевые облака (Cu cong), которые имеют ширину от нескольких десятков до 100 км. Осадки, выпадающие на холодном фронте 2-го рода, имеют ливневый характер. Ширина зоны осадков 50—100 км и выпадают они, в основном, перед линией фронта [6].

Глава 3. Методы прогноза гроз

2.1. Прогноз гроз методом частицы

Из большого количества существующих методов прогноза гроз многие являются разновидностями так называемого метода частицы, основанного на анализе вертикального адиабатического перемещения частицы воздуха в покоящейся среде. Подъемная сила, действующая на частицу, пропорциональна разности плотностей окружающей среды и данной частицы. Эта сила сообщает частице ускорение, пропорциональное на каждом данном уровне разности температур частицы и окружающего воздуха. Если частица на каждом уровне внутри какого-либо слоя оказывается теплее окружающего воздуха, то она будет ускоренно подниматься через этот слой и на его верхней границе будет обладать кинетической энергией, называемой энергией статической неустойчивости [7]. Суть прогноза гроз методом частицы заключается в том, что синоптик производит обработку диаграммы температурно-ветрового зондирования за утренний срок, на которой проводит кривую состояния. Кривая состояния – это линия, которая показывает изменение температуры с высотой изолированного объема воздуха - частицы. Именно она показывает, будет ли у нас устойчивая или неустойчивая стратификация атмосферы, по которой определяется вероятность возникновения гроз.

2.2. Метод Вайтинга

Метод Вайтинга. Считается одним из наиболее хорошим методом для прогноза гроз по определенной территории. Основан на расчете параметра К по данным утреннего температурно-ветрового зондирования. Вероятность образования гроз рассчитывается по следующей формуле:

$$K = 2T850 - T500 - D850 - D700; (2.1)$$

Где K – коэффициент метода Вайтинга; T – температура на изобарической поверхности; D – дефицит температуры точки росы на изобарической поверхности. После расчета параметра определяется вероятность возникновения гроз по прогнозируемой территории по таблице 3.2.2.1.

Таблица 3.2.2.1 – Оценка вероятности возникновения гроз по прогнозируемой территории методом Вайтинга

Значение параметра K	Оценка
≤ 20	Гроз не ожидается
20-25	Следует ожидать изолированные грозы
25-30	Следует указывать отдельные грозы
> 30	Грозы повсеместно

2.3 Индексы неустойчивости Total Totals, Vertical Totals и Cross Totals

Cross Totals (CT). Метод основан на соотношении точки росы на изобарической поверхности 850 гПа и температуры воздуха на изобарической поверхности 500 гПа. Рассчитывается по следующей формуле:

$$CT = Td850 - T500; \text{ где:}$$

- CT – рассчитываемый индекс Cross Totals;
- $Td850$ – температура точки росы на изобарической поверхности
- $Td850$; $T500$ – температура воздуха на изобарической поверхности $T500$

Оценка вероятности развития грозовой деятельности приводится по таблице 3.2.3.1.

Таблица 3.2.3.1 – Оценка вероятности развития грозовой деятельности индексом атмосферной неустойчивости Cross Totals

Индекс СТ	Потенциал неустойчивости	Грозовая деятельность
СТ <u>≤ 18</u>	Тропосфера обладает низким потенциалом конвективной неустойчивости, который недостаточен для грозовой деятельности.	Отсутствует
СТ 18 - 19	Умеренная неустойчивость.	Слабая грозовая деятельность.
СТ 20 - 21	Сильная неустойчивость.	Умеренные грозы
СТ 22 - 23	Энергия неустойчивости очень сильная	Возможны сильные грозы
СТ 24 – 25	Высокая энергия неустойчивости. Сильные грозы.	Сильные грозы
СТ <u>≥ 25</u>	Очень высокая энергия неустойчивости. Очень сильные грозы.	Очень сильные грозы

Vertical Totals (VT). Метод показывает статическую устойчивость между изобарическими поверхностями 850 гПа и 700 гПа. Рассчитывается по следующей формуле:

$$VT = T_{850} - T_{500};$$

Где:

- VT – рассчитываемый индекс Vertical Totals;
- T_{850} – температура на изобарической поверхности T_{850} ;
- T_{500} – температура на изобарической поверхности T_{500}

Если значение $VT \geq 26$, то грозы вероятны. Total Totals (TT). Метод включает в себя рассмотренные выше показатели: Vertical Totals (VT) и Cross Totals (CT).

Total Totals (TT) Используется для прогноза очагов грозовой активности и рассчитывается по следующей формуле:

$$TT = VT + CT;$$

По табличным значениям (таблица 3.2.3.2) можно определить вероятность грозовой деятельности [4].

Таблица 3.2.3.2 – Оценка вероятности грозовой деятельности по индексу Total Totals (TT)

Индекс TT	Оценка вероятности грозовой деятельности
<u>< 44</u>	Грозовая деятельность не возможна.
44 - 45	Отдельная гроза или несколько гроз.
46 - 47	Рассеянные грозовые очаги.
48 - 49	Значительные количество гроз, отдельные из которых сильные.
50 - 51	Рассеянные сильные грозовые очаги, отдельные очаги со смерчем.
52 - 55	Значительное количество очагов сильных гроз, отдельные очаги со смерчем.
> 55	Многочисленные сильные грозы с сильными смерчами

Глава 4. Анализ конвективных явлений в городе Ижевск

4.1. Описание исходных данных

Источник данных: сайт ВНИИГМИ-МЦД (Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных).

Тип данных: срочные гидрометеорологические данные наблюдений по станции Ижевск.

Период наблюдений: с 1966 по 2023 гг.

Информация о станции:

- Индекс ВМО – 28411
- Координаты - $56^{\circ}50'$ с.ш. $53^{\circ}27'$ в.д.
- Высота метеоплощадки: 155 м.

Расположение станции показано на рисунке 4.1.1.

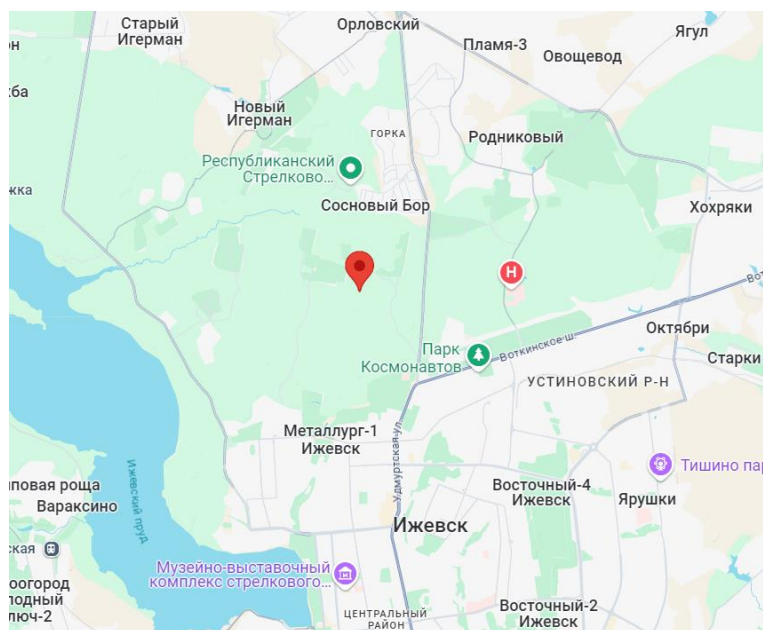


Рис 4.1.1. Расположение метеорологической станции на карте.

4.2. Распределение количества конвективных явлений по месяцам

По архивным данным были построены гистограммы распределения количества конвективных явлений (град, гроза, ливневой снег, ливневой дождь) по месяцам (Рис. 4.2.1 – 4.2.3.).

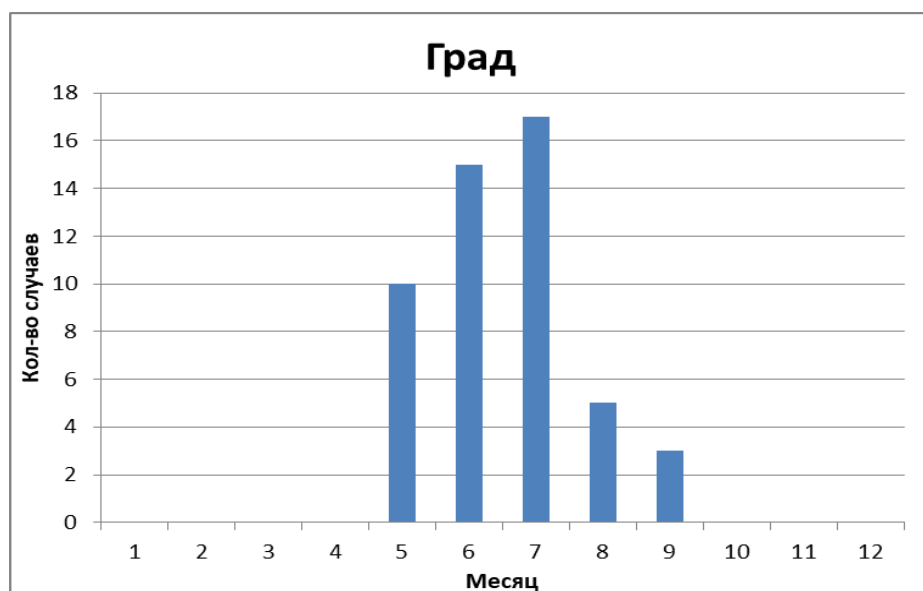


Рис 4.2.1. Распределение количество случаев града по месяцам.

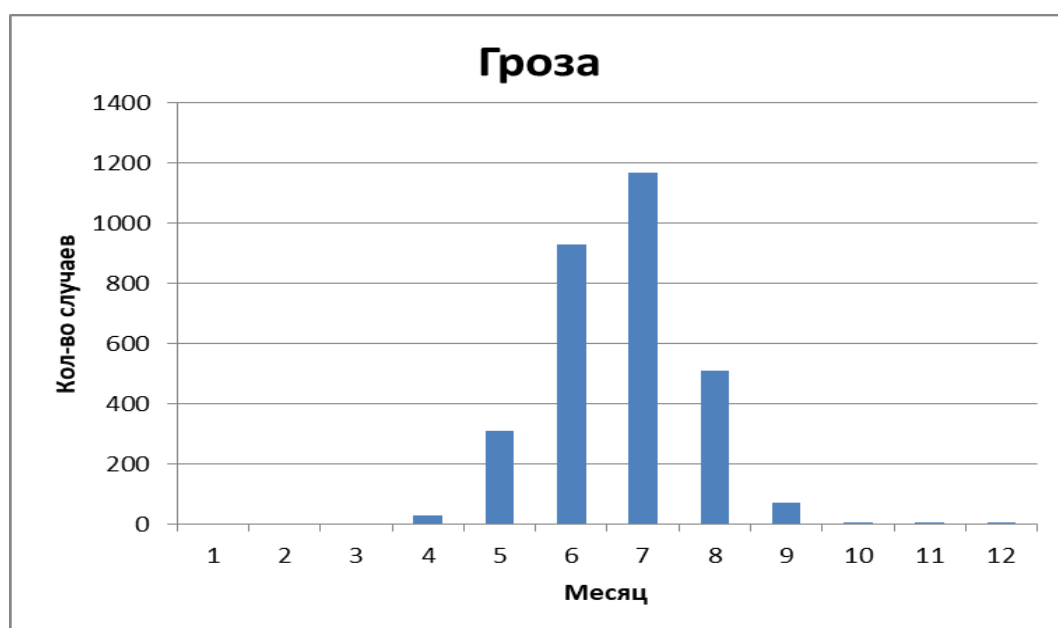


Рис 4.2.2. Распределение количество случаев грозы по месяцам

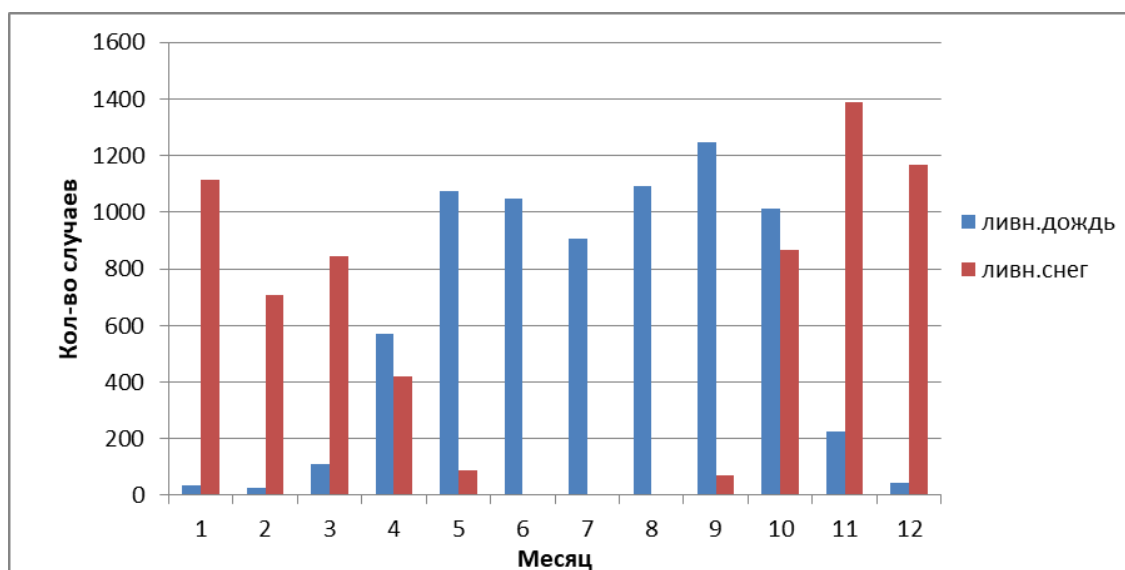


Рис 4.2.3. Распределение количество случаев ливневого дождя и ливневого снега по месяцам

Наибольшее количество случаев града наблюдалось в летние месяцы, с максимумом в июле (17 случаев). Наименьшее количество случаев – в сентябре (3 случая), а зимой града не было вообще.

Грозы, так же, чаще всего приходились на летние месяцы. Максимум количества случаев наблюдался в июле (1166 случаев), реже – осенью (581 случай) и весной (338 случаев). За данный период наблюдений было зарегистрировано всего два случая зимних гроз – оба в декабре.

Ливневой дождь и ливневой снег имеют хорошо заметный среднегодовой ход. Максимум числа случаев ливневого дождя приходилось на сентябрь (1245 случаев), минимум – на зимние месяцы (109 случаев). Количество случаев ливневого снега, наоборот, максимально с ноября по январь (3666 случаев). Летом наблюдался всего один случай – в июне.

4.3. Распределение количества конвективных явлений по годам.

По архивным данным были построены гистограммы распределения количества конвективных явлений (град, гроза) по годам (Рис.4.2.1, 4.2.2).

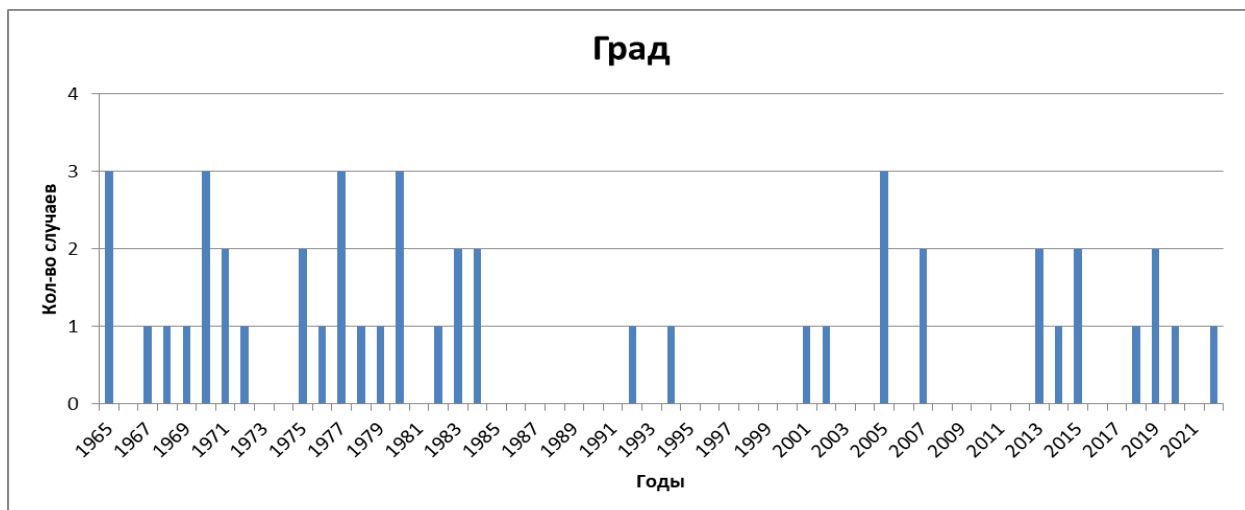


Рис 4.3.1. Распределение кол-ва случаев града по годам.

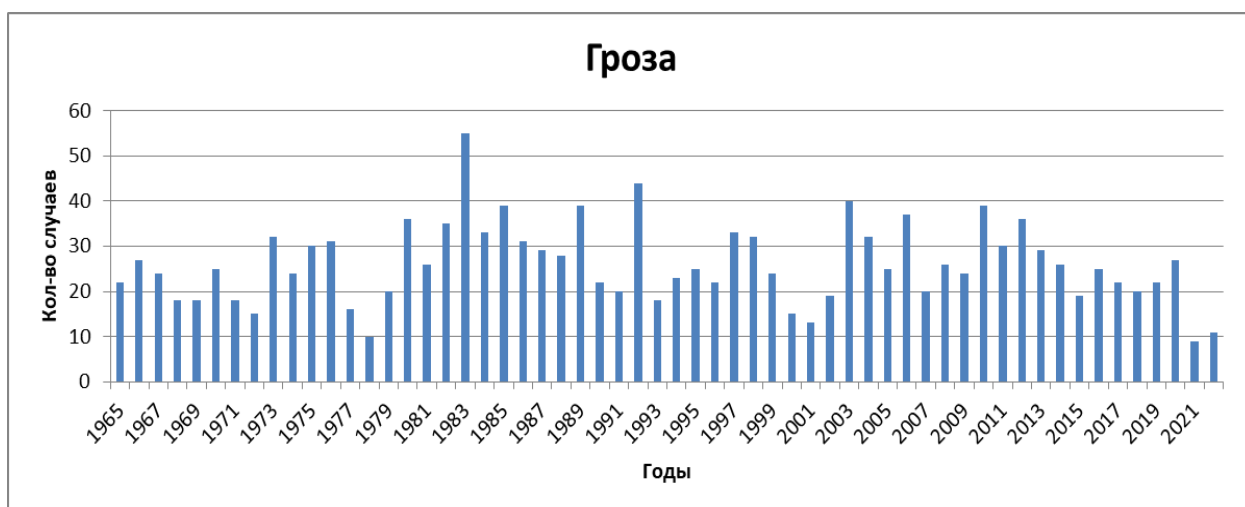


Рис 4.3.2. Распределение кол-ва случаев грозы по годам.

Наибольшее количество случаев града наблюдалось в 1966, 1971, 1978 и 2006 гг. (по 3 случая в год).

Случаев с грозой наблюдалось гораздо больше, чем с градом. Максимум количества явления пришёлся на 1984 г. (55 случаев), минимум – на 2022 г. (9 случаев).

4.4. Анализ синоптических ситуаций при образовании гроз.

Синоптическая ситуация за 17.06.2022г. за 12UTC

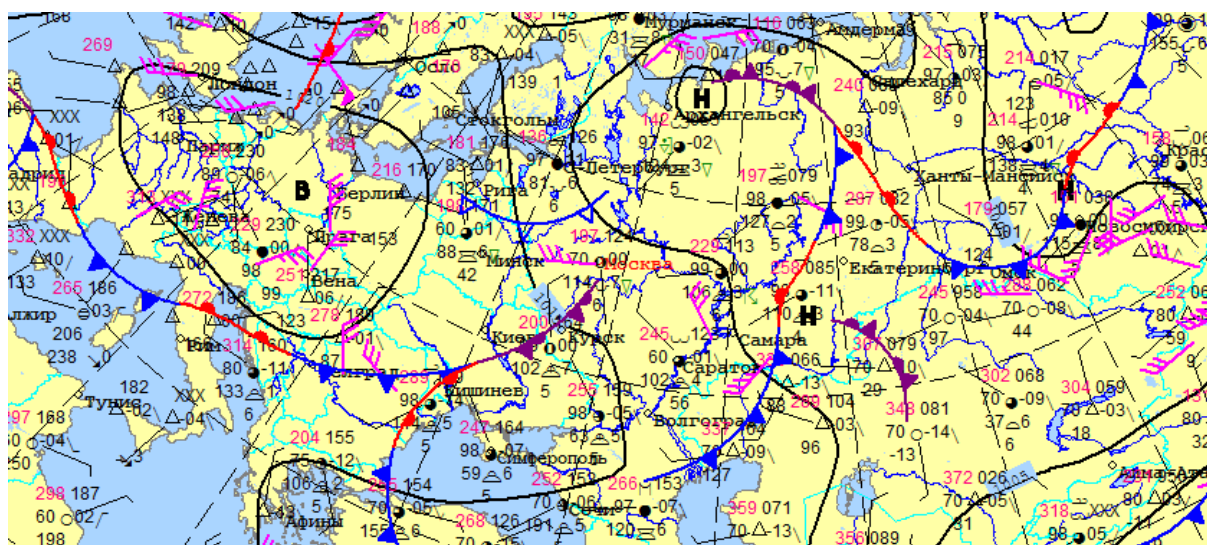


Рис 4.4.1. Карта приземного анализа за 17.06.2022г. за 12UTC

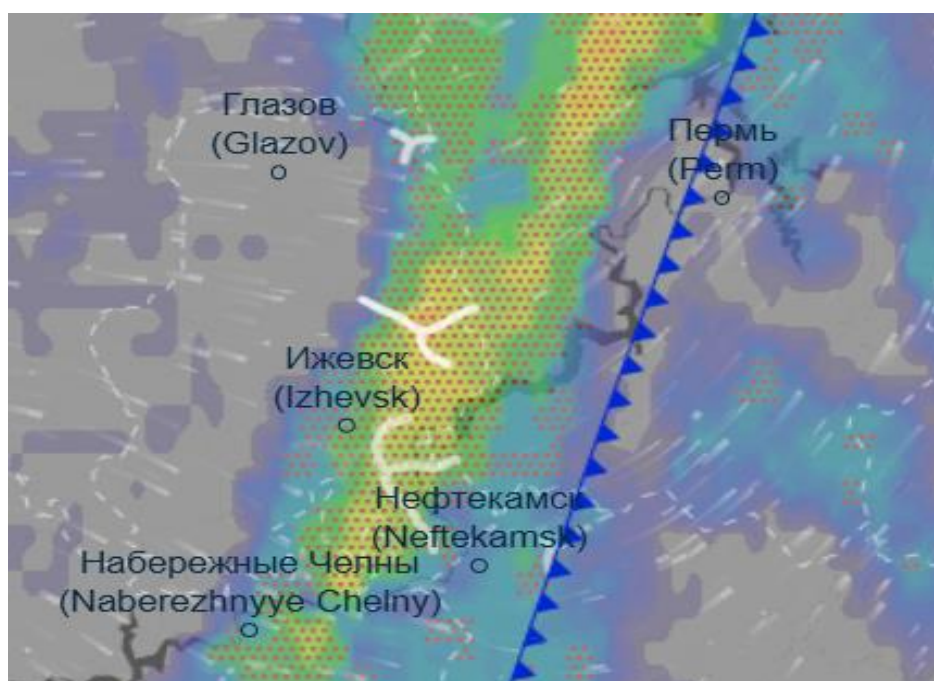


Рис. 4.4.2. Поле осадков. Модель ICON, 15:00 (UTC+03:00)

17 июня 2022г. Ижевск находился в зоне действия обширной многоцентральной депрессии с центрами циклонов в Архангельске, на северо-западе от Новосибирска и на северо-востоке от Самары.

Погода определялась прохождением холодного фронта, поблизости наблюдалась волна на холодном фронте. При высокой влажности (88-90%) развилась конвекция, которую усилили активный ХФ и сходимости потоков. В результате чего сформировались кучево-дождевые облака, которые стали причиной сильных дождей, местами с грозами и шквалистым ветром.

Начало грозы: 11:49. Окончание: 12:00

Прогноз грозы по индексам неустойчивости:

1. Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 27,5 – гроза прогнозируется, следует указывать отдельные грозы;
2. Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 25,8 – грозы вероятны;
3. Индекс неустойчивости Cross Totals равен 22,1 – очень высокая энергия неустойчивости, прогнозируются очень сильные грозы.
4. Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 47,9 – прогнозируется значительное количество гроз, отдельные из которых сильные.

Синоптическая ситуация за 02.09.2021. 12UTC

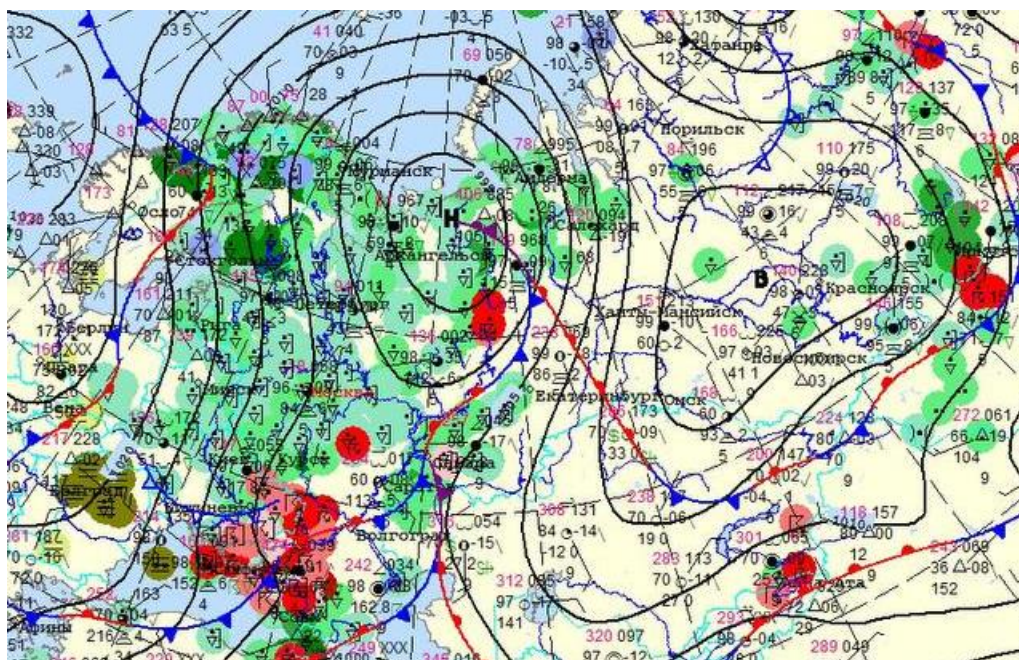


Рис 4.4.3. Карта приземного анализа за 02.09.2021. 12UTC

На карте видно, что 02.09.2021г. Ижевск находился в зоне действия глубокого циклона с центром над Белым морем. Поблизости располагалась волна на холодном фронте. Ижевск находился прямо на вершине волны, что и стало причиной возникновения фронтальных гроз.

Прогноз грозы по индексам неустойчивости:

1. Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 28,3 – гроза прогнозируется, следует указывать отдельные грозы;
2. Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 28,3 – гроз не должно быть;
3. Индекс неустойчивости Cross Totals равен 20 – высокая энергия неустойчивости, прогнозируются умеренные грозы.
4. Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 43,8 – прогнозируются отдельные грозы или несколько гроз.

Синоптическая ситуация за 05.09.2023г. 12UTC

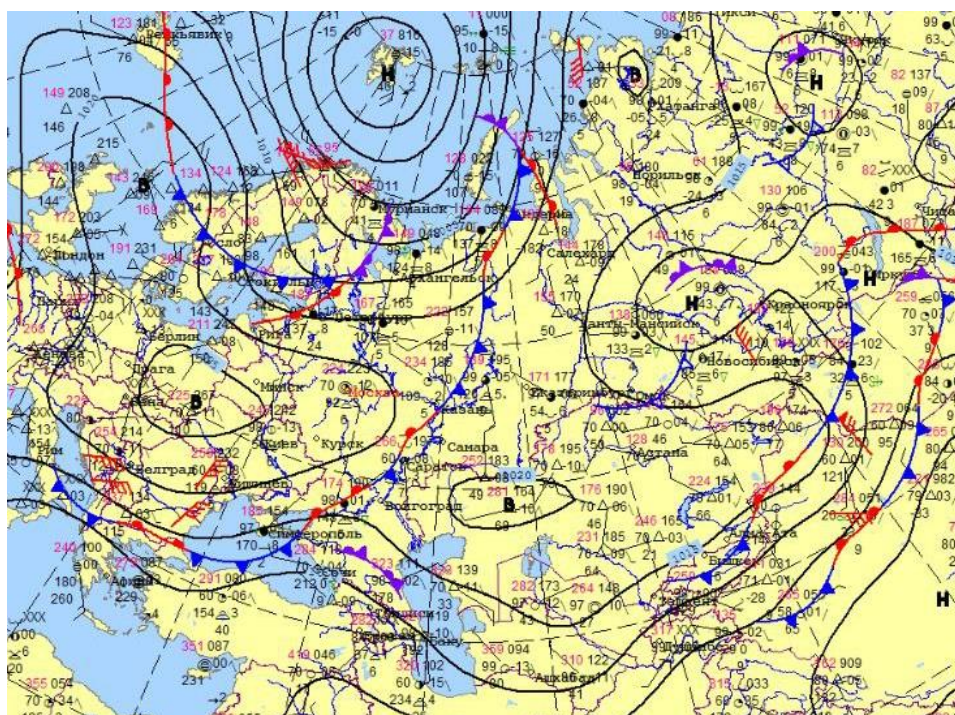


Рис 4.4.4. Карта приземного анализа за 05.09.2023г. 12UTC

На карте видно, что 05.09.2023г. Ижевск находился в зоне действия обширного многоцентрового антициклона с центрами на западе Казахстана, над полуостровом Таймыр и над Польшей. Погода определялась прохождением холодного фронта, также, поблизости наблюдалась волна на холодном фронте, что могло послужить фактором образования фронтальных гроз.

Прогноз грозы по индексам неустойчивости:

1. Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 27,4 – гроза прогнозируется, следует указывать отдельные грозы;
2. Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 26,1 – грозы вероятны;
3. Индекс неустойчивости Cross Totals равен 23,2 – очень высокая энергия неустойчивости, прогнозируются сильные грозы.
4. Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 49,3 – прогнозируется значительное количество гроз, отдельные из которых сильные.

Синоптическая ситуация за 20.06.2022г. 12UTC

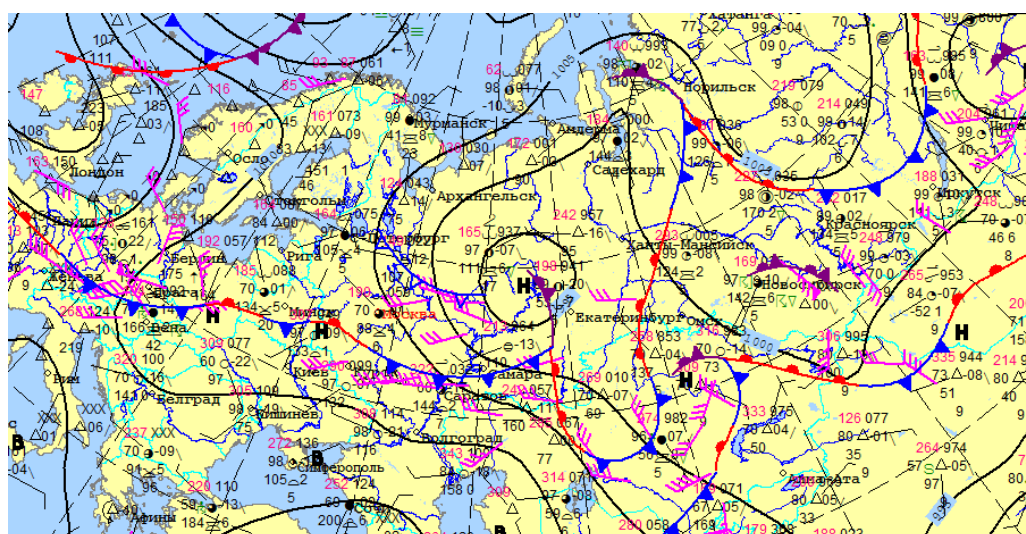


Рис 4.4.5. Карта приземного анализа за 20.06.2022г. 12UTC

Ижевск находился в зоне действия обширной многоцентровой депрессии с центрами на северо-западе от Ижевска и на юго-востоке от Омска. Погода определялась прохождением фронта окклюзии.

Прогноз грозы по индексам неустойчивости:

1. Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 27,6 – гроза прогнозируется, следует указывать отдельные грозы;
2. Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 28,5 – грозы вероятны;
3. Индекс неустойчивости Cross Totals равен 25,2 – очень высокая энергия неустойчивости, прогнозируются очень сильные грозы.
4. Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 53,7 – прогнозируется значительное количество очагов сильных гроз, отдельные из которых со смерчем.

Синоптическая ситуация за 26.04.2022г. 12UTC



Рис 4.4.6. Карта приземного анализа за 26.04.2022г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась тёплым сектором циклона. Вид гроз - внутримассовые грозы.

Прогноз грозы по индексам неустойчивости:

1. Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 29,3 – гроза прогнозируется, следует указывать отдельные грозы;
2. Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 29,2 – грозы вероятны;
3. Индекс неустойчивости Cross Totals равен 23,1 – очень высокая энергия неустойчивости, прогнозируются сильные грозы.
4. Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 52,3 – прогнозируется значительное количество очагов сильных гроз, отдельные из которых со смерчем.

Синоптическая ситуация за 04.08.2023г. 12UTC

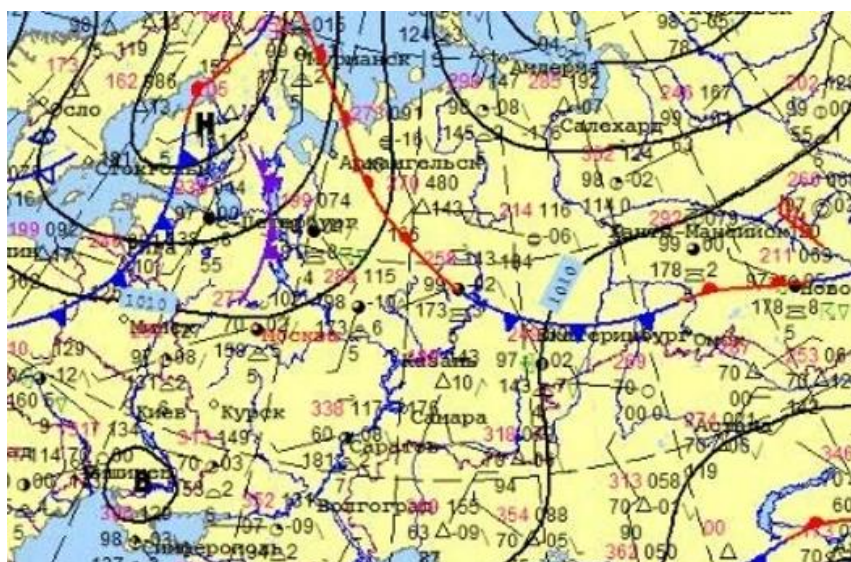


Рис 4.4.7. Карта приземного анализа за 04.08.2023г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась прохождением холодного фронта. Вид гроз - фронтальные грозы.

Прогноз грозы по индексам неустойчивости:

1. Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 27,9 – гроза прогнозируется, следует указывать отдельные грозы;
2. Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 25,7 – грозы вероятны;

3. Индекс неустойчивости Cross Totals равен 19,4 – умеренная энергия неустойчивости, прогнозируются слабые грозы.
4. Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 45,1 – прогнозируется отдельная гроза или несколько гроз.

Синоптическая ситуация за 02.08.2023г. 12UTC

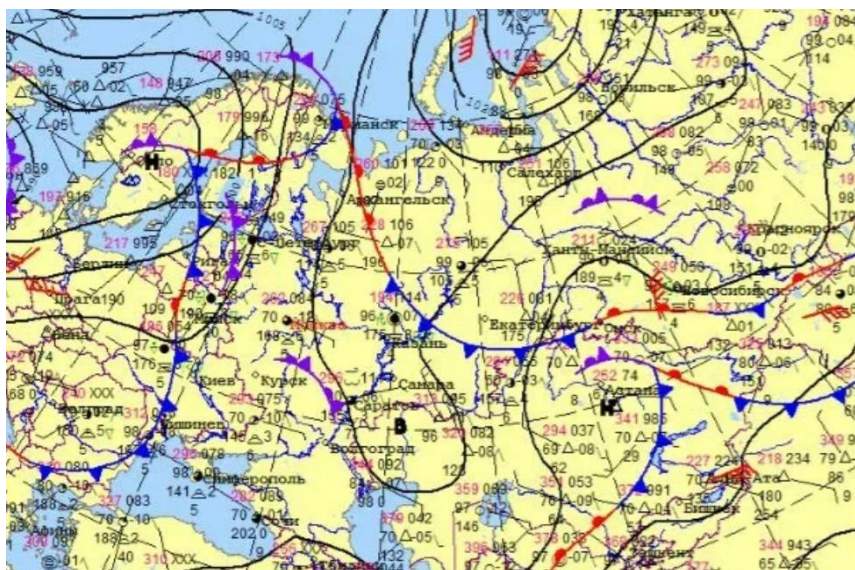


Рис 4.4.8. Карта приземного анализа за 02.08.2023г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась прохождением холодного фронта. Вид гроз - фронтальные грозы.

Прогноз грозы по индексам неустойчивости:

1. Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 30,7 – гроза прогнозируется, следует указывать повсеместные грозы;
2. Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 26,4 – грозы вероятны;
3. Индекс неустойчивости Cross Totals равен 22,6 – очень сильная энергия неустойчивости, прогнозируются сильные грозы.
4. Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 49 – прогнозируется значительное количество гроз, отдельные из которых сильные.

Синоптическая ситуация за 31.07.2023г. 12UTC

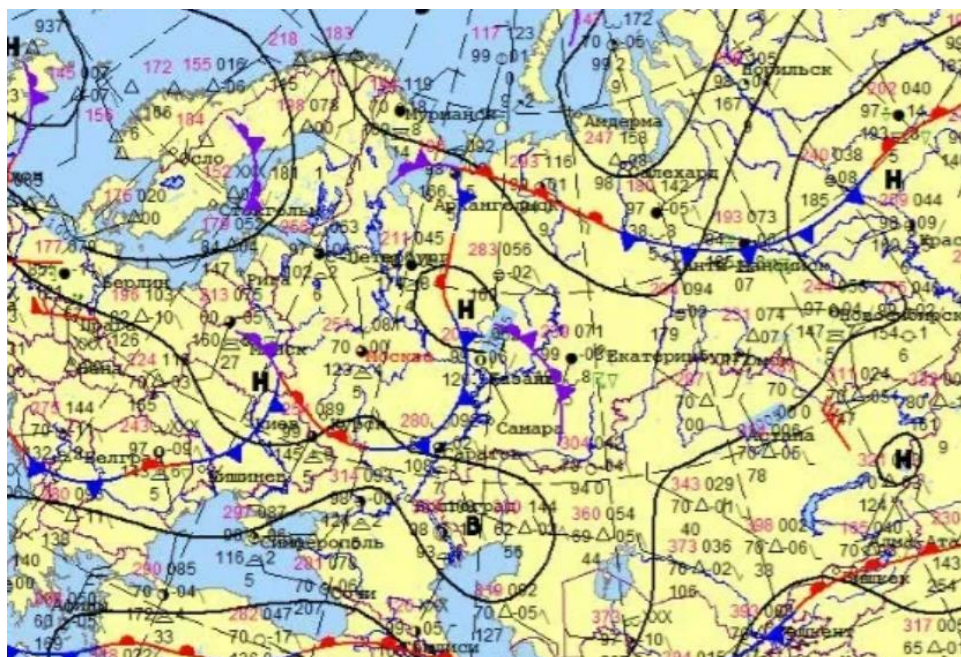


Рис 4.4.9. Карта приземного анализа за 31.07.2023г. 12UTC

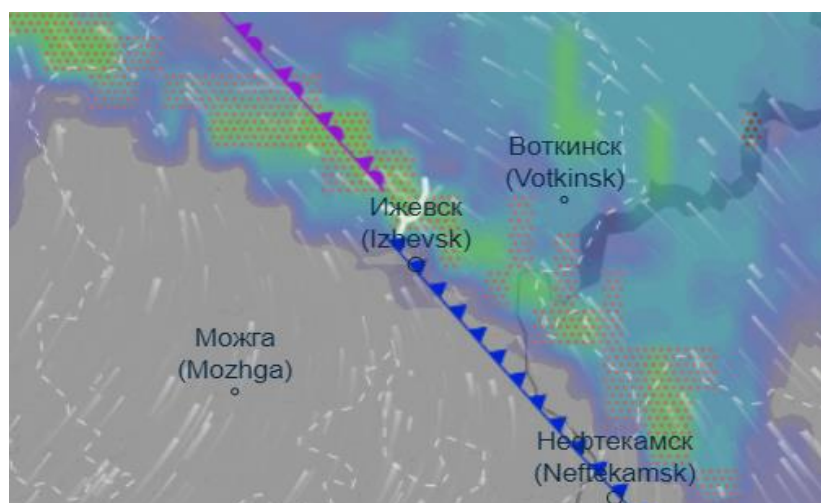


Рис. 4.4.10. Модель ICON, 15:00 (UTC+03:00)

31 июля 2023 года над Ижевском наблюдалось влияние южного циклона, который сформировался над Чёрным морем. Как только циклон вышел на территорию ЕТР, то сразу оказался со всех сторон заблокирован антициклонами, стал стационарным и начал окклюдироваться. Погода в Ижевске определялась прохождением фронта окклюзии, который

вызвал ливни, грозы и шквалы до 18 м/с. Был зафиксирован резкий спад давления с 989гПа до 973гПа за 3 часа, а так же снижение видимости до 500м во время ливня.

Начало грозы: 12:57

Окончание: 13:08

Прогноз грозы по индексам неустойчивости:

1. Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 30 – гроза прогнозируется, следует указывать отдельные грозы;
2. Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 25,4 – гроз быть не должно;
3. Индекс неустойчивости Cross Totals равен 23,8 – очень высокая энергия неустойчивости, прогнозируются очень сильные грозы.
4. Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 49,2 – прогнозируется значительное количество гроз, отдельные из которых сильные.

Синоптическая ситуация за 24.07.2023г. 12UTC

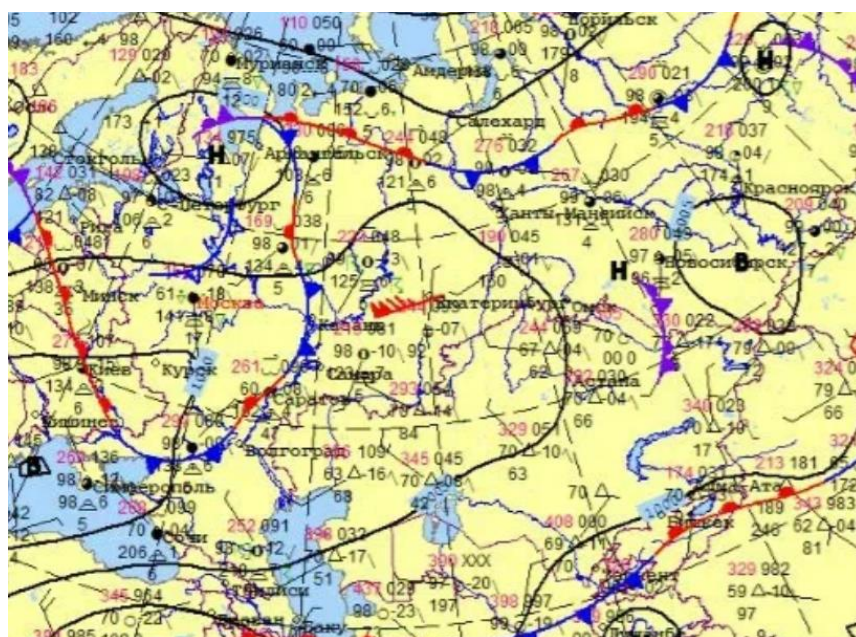


Рис 4.4.11. Карта приземного анализа за 24.07.2023г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась теплым сектором циклона. Вид гроз - внутримассовые грозы.

Прогноз грозы по индексам неустойчивости:

1. Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 30,7 – гроза прогнозируется, следует указывать повсеместные грозы;
2. Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 25,9 – вероятны грозы;
3. Индекс неустойчивости Cross Totals равен 23,9 – очень высокая энергия неустойчивости, прогнозируются очень сильные грозы.
4. Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 49,8 – прогнозируются рассеянные сильные грозовые очаги, отдельные очаги со смерчем.

Синоптическая ситуация за 31.08.2022г. 12UTC



Рис 4.4.12. Карта приземного анализа за 31.08.2022г. 12UTC

Погода определялась тёплым сектором циклона. Вид гроз - внутримассовые грозы.

Прогноз грозы по индексам неустойчивости:

1. Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 33,3 – гроза прогнозируется, следует указывать повсеместные грозы;
2. Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 28,5 – вероятны грозы;
3. Индекс неустойчивости Cross Totals равен 23,2 – очень высокая энергия неустойчивости, прогнозируются сильные грозы.
4. Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 51,7 – прогнозируется значительное количество очагов сильных гроз, отдельные очаги со смерчем.

Синоптическая ситуация за 26.07.2022г. 12UTC



Рис 4.4.13. Карта приземного анализа за 26.07.2022г. 12UTC

Погода определялась тёплым сектором циклона. Вид гроз - внутримассовые грозы.

Прогноз грозы по индексам неустойчивости:

1. Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 31,4 – гроза прогнозируется, следует указывать повсеместные грозы;
2. Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 26,7 – вероятны грозы;
3. Индекс неустойчивости Cross Totals равен 23,4 – очень высокая энергия неустойчивости, прогнозируются сильные грозы.
4. Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 50,1 – прогнозируются рассеянные сильные грозовые очаги, отдельные очаги со смерчем.

Синоптическая ситуация за 10.06.2022г. 12UTC



Рис 4.4.14. Карта приземного анализа за 10.06.2022г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась прохождением фронта окклюзии. Вид гроз - фронтальные грозы.

Прогноз грозы по индексам неустойчивости:

1. Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 30,6 – гроза прогнозируется, следует указывать повсеместные грозы;

2. Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 27,7 – вероятны грозы;
3. Индекс неустойчивости Cross Totals равен 23,3 – очень высокая энергия неустойчивости, прогнозируются сильные грозы.
4. Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 51 – прогнозируются рассеянные сильные грозовые очаги, отдельные очаги со смерчем.

Синоптическая ситуация за 24.08.2021г. 12UTC



Рис 4.4.15. Карта приземного анализа за 24.08.2021г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась прохождением фронта окклюзии. Вид гроз - фронтальные грозы.

Прогноз грозы по индексам неустойчивости:

1. Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 29,7 – гроза прогнозируется, следует указывать отдельные грозы;
2. Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 33,1 – вероятны грозы;

3. Индекс неустойчивости Cross Totals равен 16,4 – атмосфера обладает низким потенциалом конвективной неустойчивости, который недостаточен для грозовой деятельности.
4. Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 49,5 – прогнозируется значительное количество гроз, отдельные из которых сильные.

Синоптическая ситуация за 23.08.2021г. 12UTC

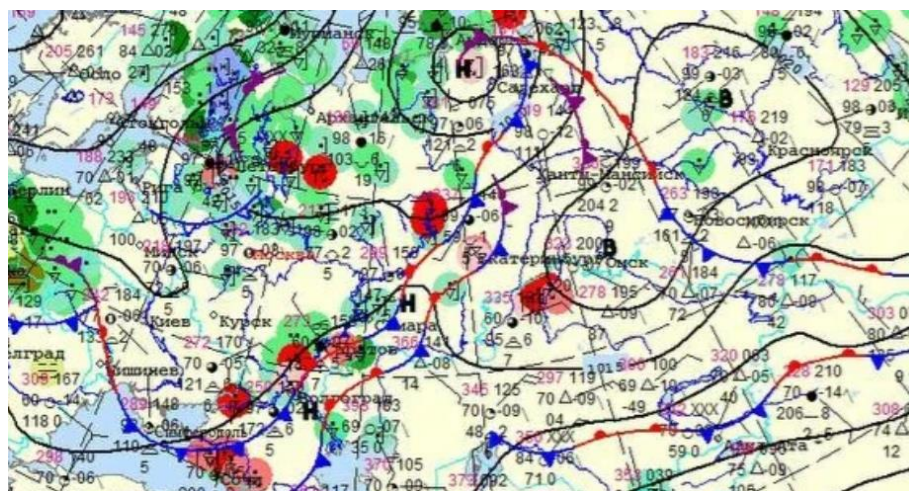


Рис 4.4.16. Карта приземного анализа за 23.08.2021г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась волной на холодном фронте. Вид гроз – фронтальные грозы.

Прогноз грозы по индексам неустойчивости:

1. Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 34,3 – гроза прогнозируется, следует указывать повсеместные грозы;
2. Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 27,8 – вероятны грозы;
3. Индекс неустойчивости Cross Totals равен 23,4 – очень высокая энергия неустойчивости, прогнозируются сильные грозы.

4. Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 51,2 – прогнозируются рассеянные сильные грозовые очаги, отдельные очаги со смерчем.

Синоптическая ситуация за 05.08.2021г. 12UT



Рис 4.4.17. Карта приземного анализа за 05.08.2021г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась тыловой частью циклона. Вид гроз – внутримассовые грозы.

Синоптическая ситуация за 23.05.2015. за 12UTC

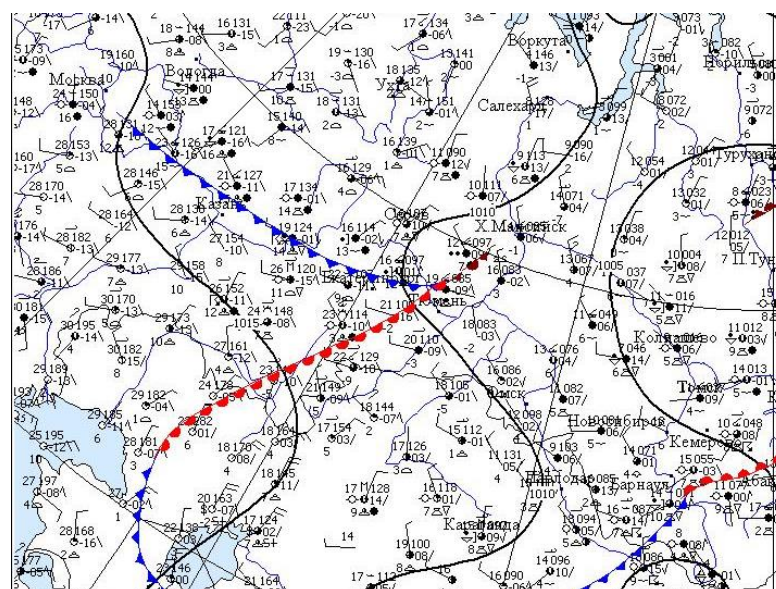


Рис 4.4.18. Карта приземного анализа за 23.05.2015. за 12UTC

Погода в Ижевске определялась прохождением холодного фронта. Вид гроз - фронтальные грозы.

Синоптическая ситуация за 14.09.2021г. за 12UTC

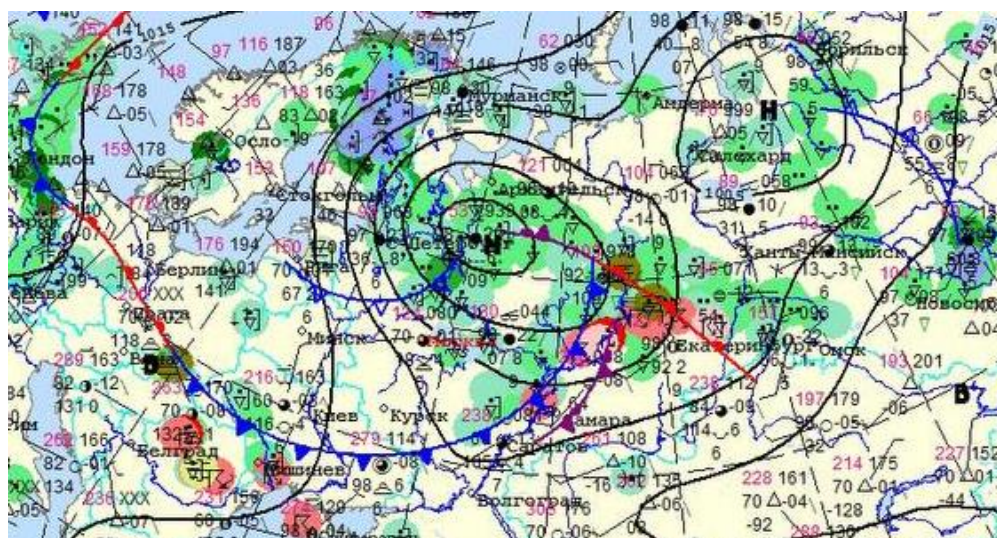


Рис 4.4.19. Карта приземного анализа за 14.09.2021г. за 12UTC

На карте видно, что 14.09.2021г. Ижевск находился в зоне действия глубокой многоцентральной депрессии, первый центр которой находился над Вологодской областью, второй – на северо-востоке от Салехарда. По данным

карты можно сказать, что погода в городе Ижевске определялась тёплым сектором циклона и фронтом окклюзии. Вид гроз - фронтальные грозы.

Синоптическая ситуация за 10.07.2018г. 12UTC

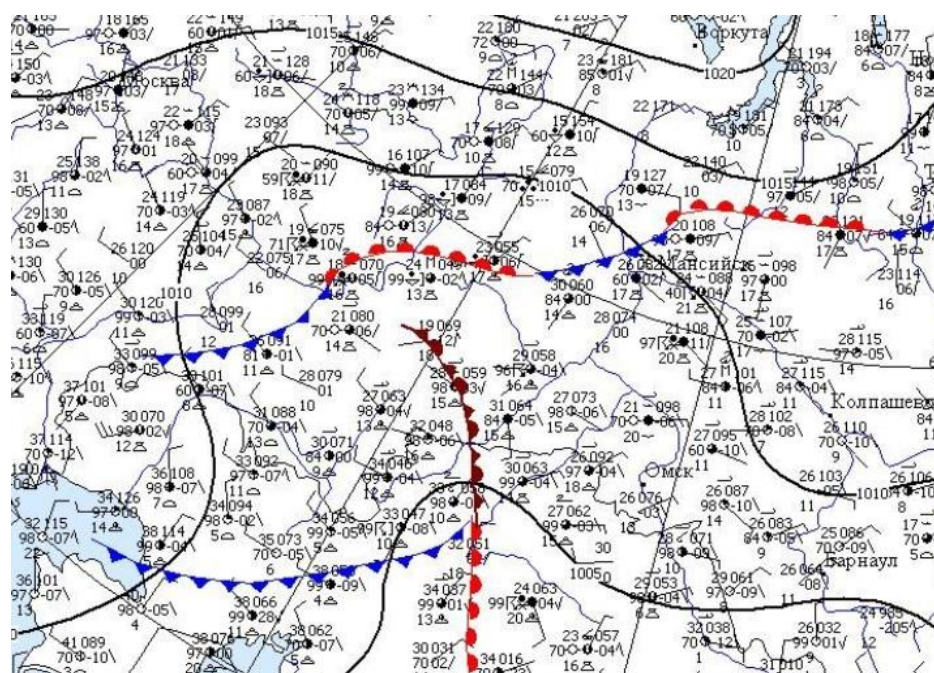


Рис 4.4.20. Карта приземного анализа за 10.07.2018г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась тёплым сектором циклона. Вид гроз - внутримассовые грозы.

Синоптическая ситуация за 19.09.2017г. 12UTC

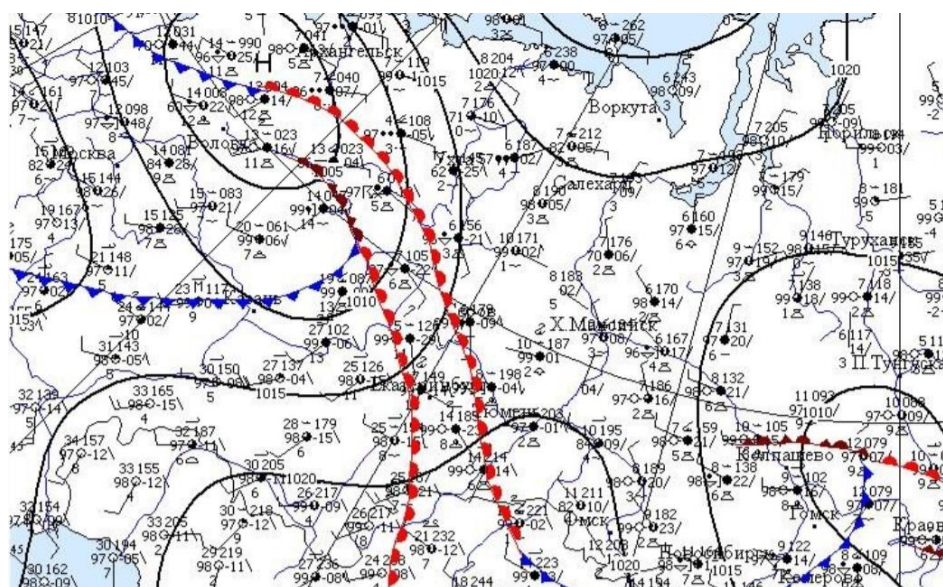


Рис 4.4.21. Карта приземного анализа за 19.09.2017г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась тёплым сектором циклона. Вид гроз - внутримассовые грозы.

Синоптическая ситуация 01.08.2017г. 12UTC

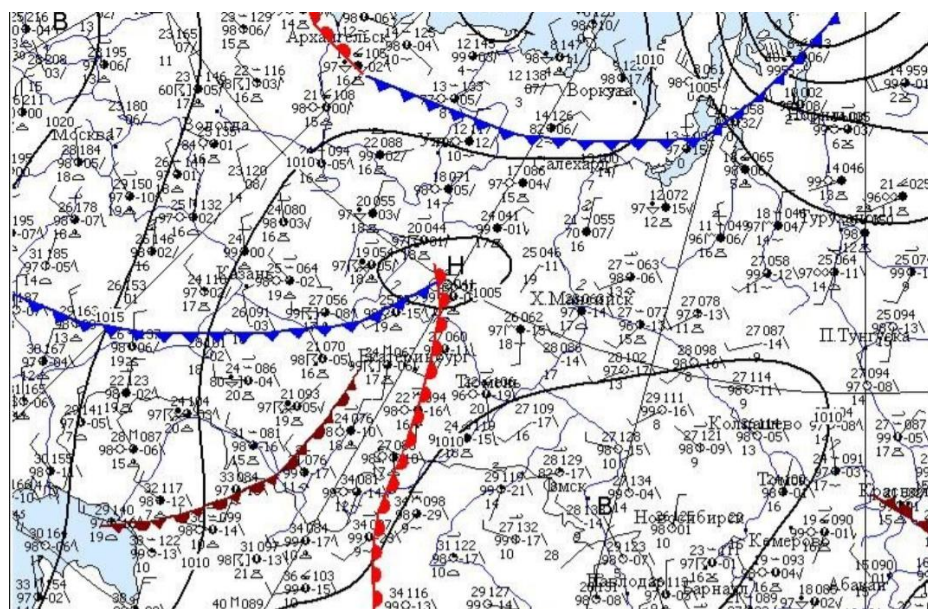


Рис 4.4.22. Карта приземного анализа за 01.08.2017г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась прохождением холодного фронта. Вид гроз - фронтальные грозы.

Синоптическая ситуация за 22.07.2017г. 12UTC

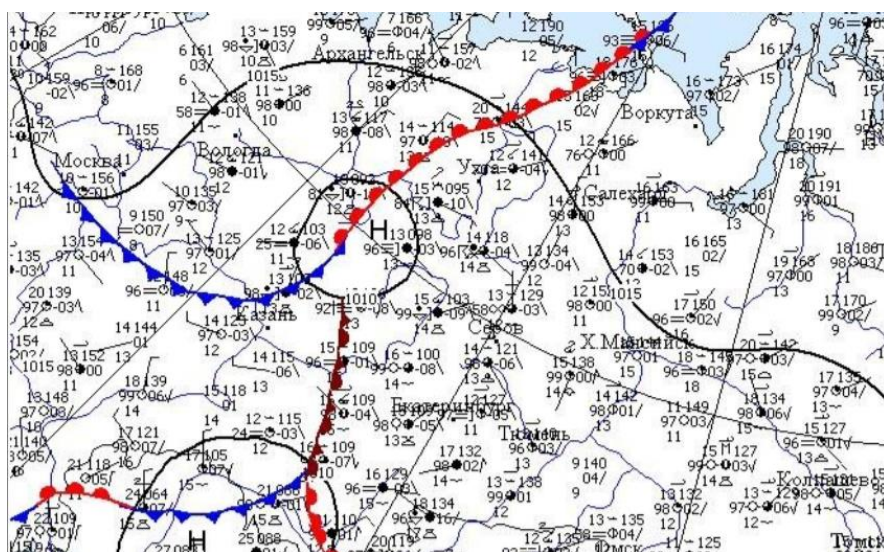


Рис 4.4.23. Карта приземного анализа за 22.07.2017г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась прохождением фронта окклюзии. Вид гроз - фронтальные грозы.

Синоптическая ситуация за 20.07.2017г. 12UTC

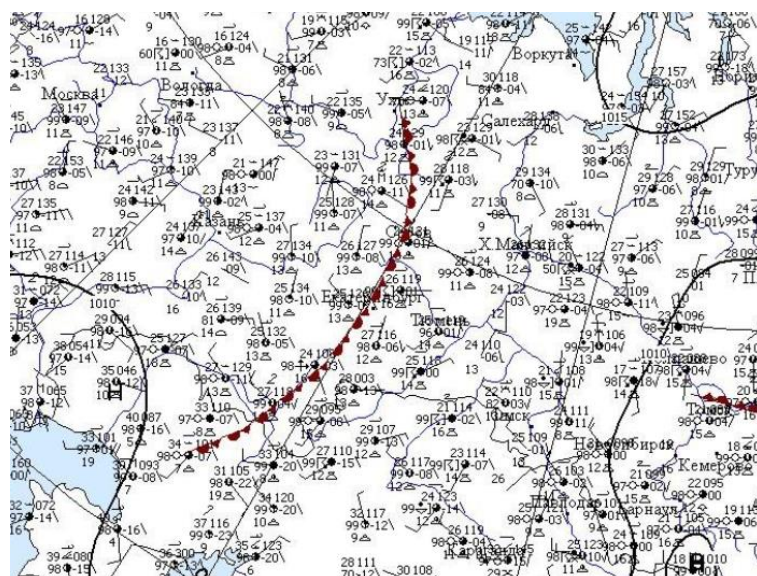


Рис 4.4.24. Карта приземного анализа за 20.07.2017г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась прохождением фронта окклюзии. Вид гроз - фронтальные грозы.

Синоптическая ситуация за 12.08.2016г. 12UTC

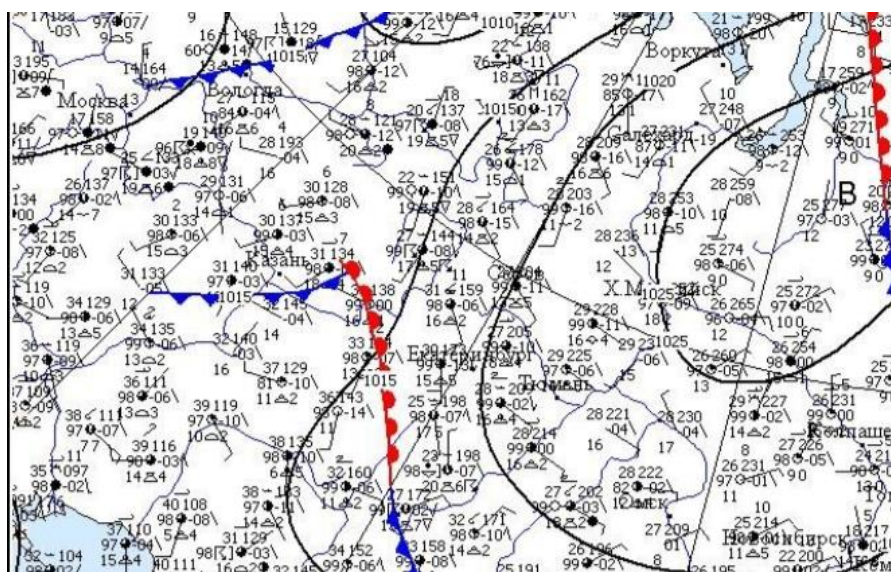


Рис 4.4.25. Карта приземного анализа за 12.08.2016г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась западной периферией антициклона.
Вид гроз - внутримассовые грозы.

Синоптическая ситуация за 27.06.2016г. 12UTC

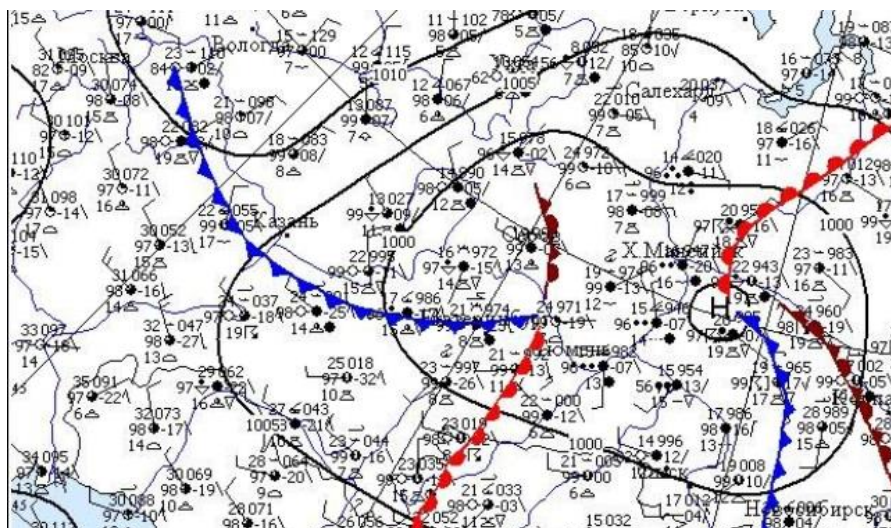


Рис 4.4.26. Карта приземного анализа за 27.06.2016г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась прохождением холодного фронта. Вид гроз - фронтальные грозы.

Синоптическая ситуация за 23.06.2016г. 12UTC

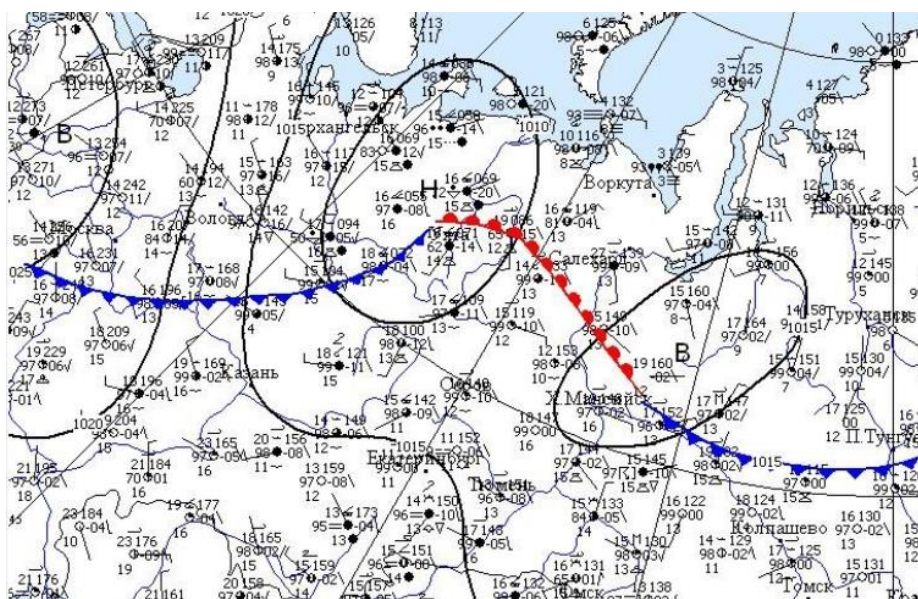


Рис 4.4.27. Карта приземного анализа за 23.06.2016г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась тёплым сектором циклона. Вид гроз - внутримассовые грозы.

Синоптическая ситуация за 07.06.2016г. 12UTC

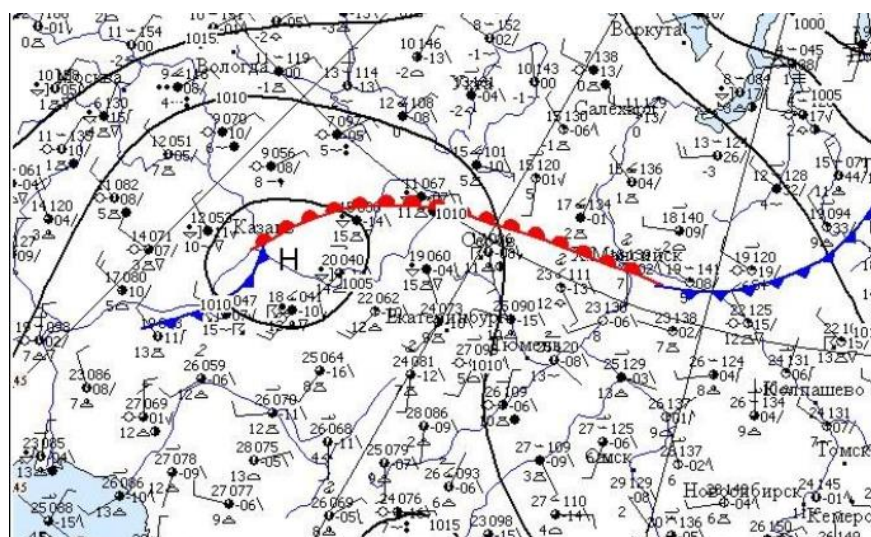


Рис 4.4.28. Карта приземного анализа за 07.06.2016г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась тёплым сектором циклона. Вид гроз - внутримассовые грозы.

Синоптическая ситуация за 05.06.2016г. 12UTC

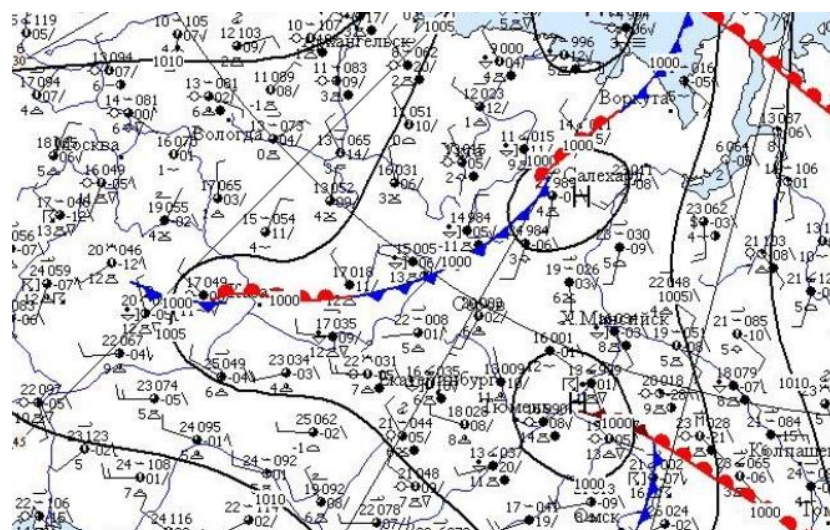


Рис 4.4.29. Карта приземного анализа за 05.06.2016г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась прохождением холодного фронта. Вблизи наблюдалась волна на холодном фронте. Вид гроз - фронтальные грозы.

Синоптическая ситуация за 30.07.2015г. 12UTC

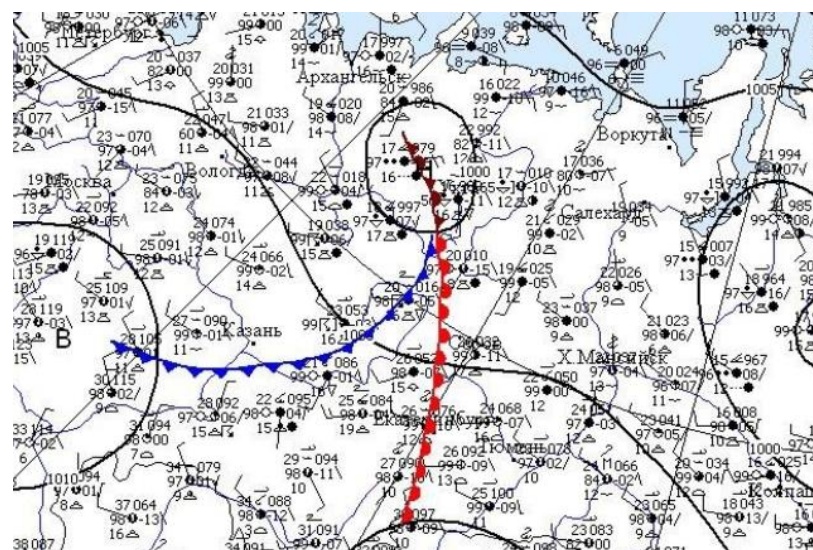


Рис 4.4.30. Карта приземного анализа за 30.07.2015г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась тёплым сектором циклона. Вид гроз - внутримассовые грозы.

Синоптическая ситуация за 12.07.2015г. 12UTC

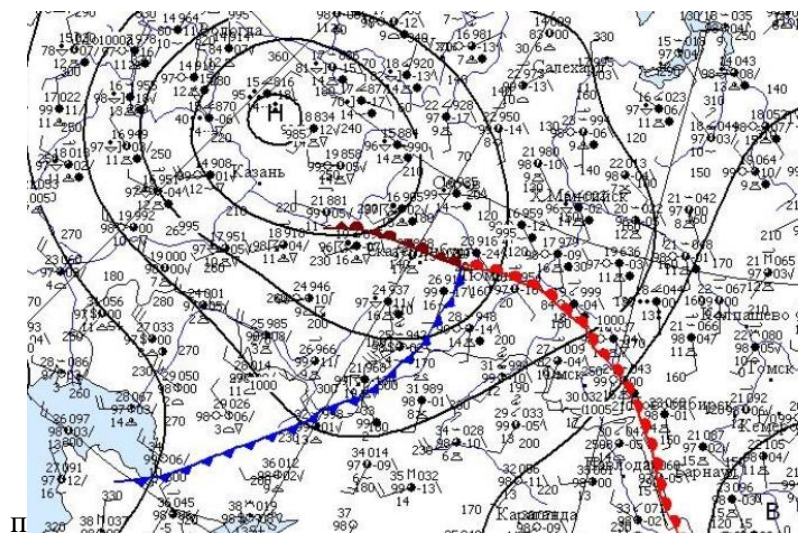


Рис 4.4.31. Карта приземного анализа за 12.07.2015г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась прохождением фронта окклюзии. Вид гроз - фронтальные грозы.

Синоптическая ситуация за 10.07.2015г. 12UTC

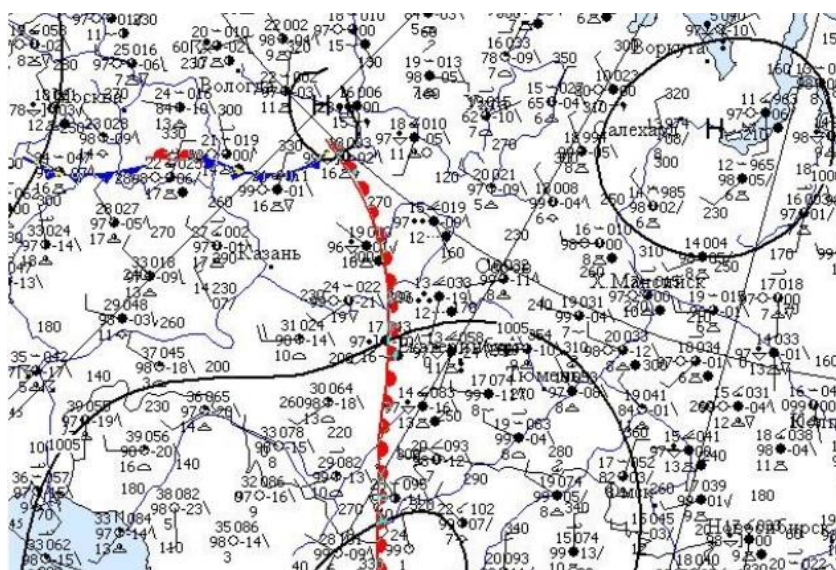


Рис 4.4.32. Карта приземного анализа за 10.07.2015г. 12UTC

Погода в Ижевске определялась тёплым сектором циклона. Вид гроз - внутримассовые грозы.

Изучив случаи с грозой в районе станции Ижевск за период с 1966 по 2023гг можно выделить типовые синоптические ситуации при которой они наблюдались. Результаты представлены в таблице 4.4.33 и на рисунке 4.4.34.

Таблица 4.4.33. – Повторяемость синоптических ситуаций при образовании гроз

Синоптическая ситуация	Число случаев	Повторяемость, %
Фронт окклюзии	7	23.3
Холодный фронт	9	30
Тёплый сектор циклона	12	40
Тыловая часть циклона	1	3.3
Западная периферия антициклона	1	3.3
Итого	30	100

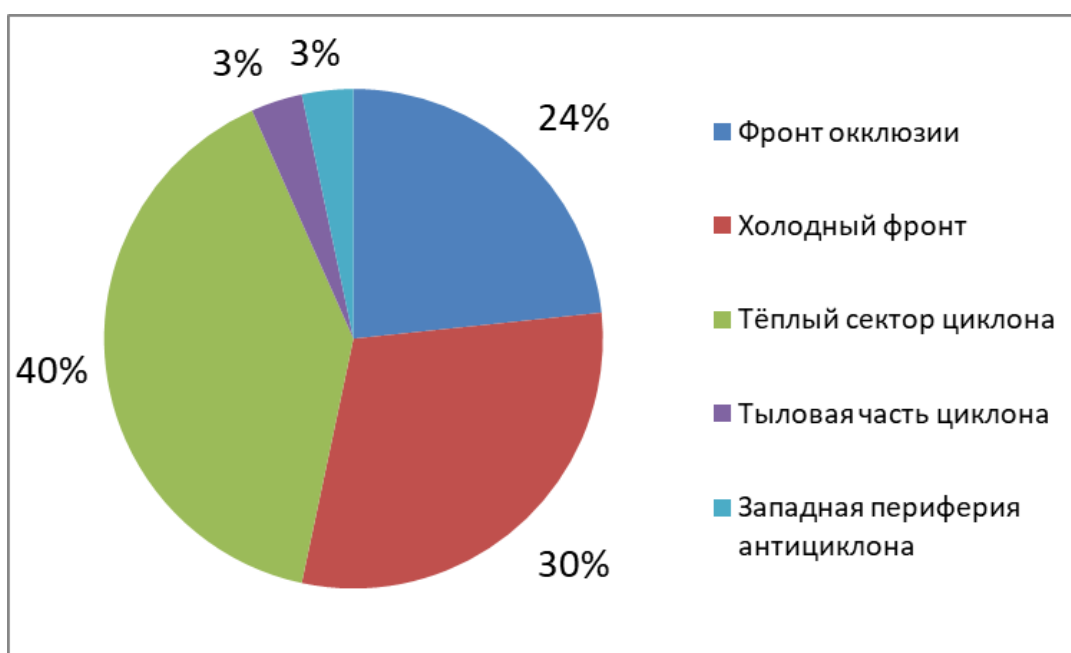


Рис 4.4.34. Диаграмма повторяемости синоптических ситуаций при образовании гроз

На рисунке 4.4.34 можно наблюдать процентное соотношение повторяемости синоптических ситуаций при образовании гроз. Почти

половина всех случаев (40%) имеет такая синоптическая ситуация, как теплый сектор циклона. Далее по повторяемости идёт холодный фронт (30%) и фронт окклюзии (24%).

4.5. Оправдываемость прогноза гроз по индексам неустойчивости

В таблице 4.5.1 рассчитана оправдываемость прогноза гроз по индексам неустойчивости для случаев с грозой. Для этого сначала была посчитана оправдываемость каждого отдельного метода, после чего полученные значения были проанализированы и сведены в единую таблицу.

Таблица 4.5.1 – Оправдываемость прогноза гроз по индексам неустойчивости

Метод	Прогнозировалось	Не прогнозировалось	Процент оправдываемости, %
Вайтинга (К-индекс)	14	0	100
Cross Totals	13	1	93
Vertical Totals	11	3	79
Total Totals	14	0	100

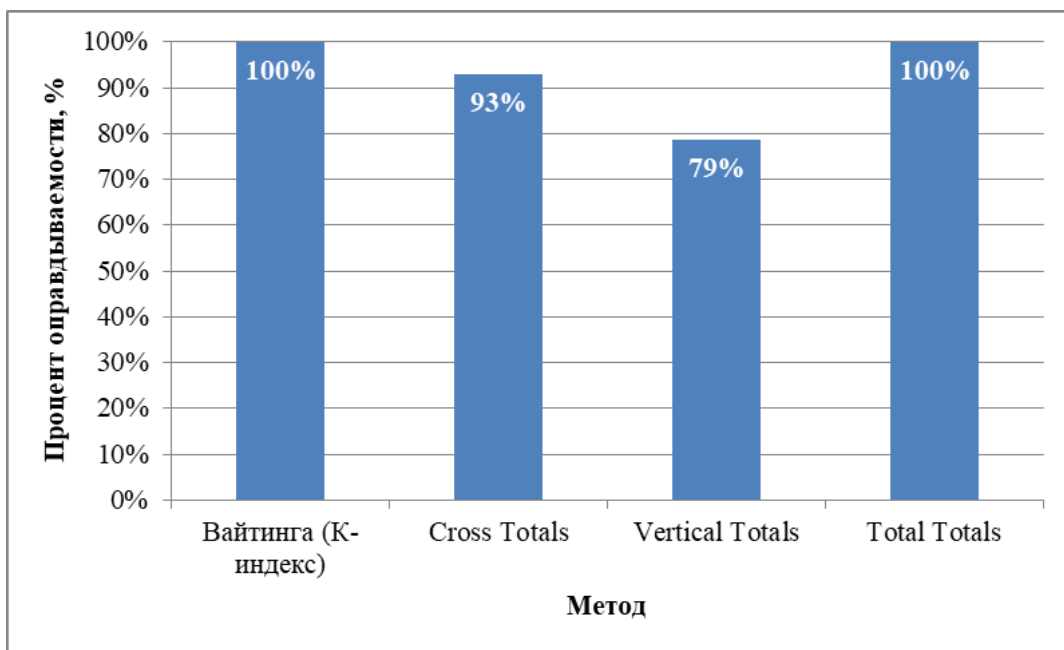


Рис 4.5.2. Гистограмма оправдываемости прогноза гроз по индексам неустойчивости

На рисунке 4.5.2. наглядно видно, что наибольшие проценты оправдываемости у методов прогноза гроз Вайтинга и Total Totals (100%), наименьшее – у метода Vertical Totals (79%).

4.6. Оправдываемость прогноза гроз по индексам неустойчивости для случаев с Сб облачностью, когда грозы не было.

1) 30.08.2023г 12:00UTC Форма облаков вертикального развития: Cu и Сб

Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен -5,5 – Гроз не ожидается.

Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 22,3 – гроз быть не должно.

Индекс неустойчивости Cross Totals равен 15,9 – Тропосфера обладает низким потенциалом конвективной неустойчивости, который недостаточен для грозовой деятельности. Грозы не прогнозируются.

Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 38,2 – Грозовая деятельность невозможна.

2) 26.08.2023г 09:00UTC Форма облаков вертикального развития: Cu и Cb

Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 16,7 – Гроз не ожидается.

Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 24 – Гроз быть не должно.

Индекс неустойчивости Cross Totals равен 21,7 – Сильная неустойчивость. Прогнозируются умеренные грозы.

Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 45,7 – Прогнозируется отдельная гроза или несколько гроз.

3) 21.08.2023г 12:00UTC Форма облаков вертикального развития: Cu и Cb

Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 3,3 – Гроз не ожидается.

Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 23,3 – Гроз быть не должно.

Индекс неустойчивости Cross Totals равен 18,5 – Умеренная неустойчивость. Прогнозируется слабая грозовая деятельность.

Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 18,5 – Грозовая деятельность невозможна.

4) 22.07.2023г 12:00UTC Форма облаков вертикального развития: Cu и Cb

Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 27,5 – Прогнозируются отдельные грозы.

Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 25,4 – Гроз быть не должно.

Индекс неустойчивости Cross Totals равен 22,1 – Энергия неустойчивости очень сильная. Возможны сильные грозы.

Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 47,5 – Прогнозируются рассеянные грозовые очаги.

5) 04.07.2023г 12:00UTC Форма облаков вертикального развития: Cu и Cb

Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 25,1 – Прогнозируются изолированные грозы.

Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 26,5 – вероятны грозы.

Индекс неустойчивости Cross Totals равен 21,8 – Сильная неустойчивость. Прогнозируются умеренные грозы.

Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 48,3 – Прогнозируется значительное количество гроз, отдельные из которых сильные.

6) 25.06.2023г 12:00UTC Форма облаков вертикального развития: Cu и Cb

Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 26,2 – Прогнозируются отдельные грозы.

Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 28,6 – вероятны грозы.

Индекс неустойчивости Cross Totals 24,1 – Высокая энергия неустойчивости. Прогнозируются сильные грозы.

Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 52,2 – Прогнозируется значительное количество сильных гроз, отдельные очаги со смерчем.

7) 08.08.2022г 12:00UTC Форма облаков вертикального развития: Cu и Cb

Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 23,2 – Следует ожидать изолированные грозы.

Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 26,1 – вероятны грозы.

Индекс неустойчивости Cross Totals 18,5 – Умеренная неустойчивость. Слабая грозовая деятельность.

Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 44,6 – Отдельная гроза или несколько гроз.

8) 02.08.2022г 12:00UTC Форма облаков вертикального развития: Cu и Cb

Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 14,8 – Гроз не ожидается.

Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 24 – Гроз быть не должно.

Индекс неустойчивости Cross Totals 22,2 – Энергия неустойчивости очень сильная. Возможны сильные грозы.

Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 46,2 – Прогнозируются рассеянные грозовые очаги.

9) 14.07.2022г 09:00UTC Форма облаков вертикального развития: Cu и Cb

Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 30 – Прогнозируются отдельные грозы.

Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 25 – Гроз быть не должно.

Индекс неустойчивости Cross Totals 18,7 – Умеренная неустойчивость. Прогнозируется лабая грозовая деятельность.

Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 43,7 – Грозовая деятельность невозможна.

10) 30.06.2022г 09:00UTC Форма облаков вертикального развития: Cu и Cb

Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 25,3 – Прогнозируются изолированные грозы.

Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 28 – Прогнозируется гроза.

Индекс неустойчивости Cross Totals 24,2 – Высокая энергия неустойчивости. Прогнозируются сильные грозы.

Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 52,2 – Прогнозируется значительное количество очагов сильных гроз. Отдельные очаги со смерчем.

11) 19.06.2022г 12:00UTC Форма облаков вертикального развития: Cu и Cb

Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 24 – Прогнозируются изолированные грозы.

Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 26,4 – Прогнозируется гроза.

Индекс неустойчивости Cross Totals 23 – Энергия неустойчивости очень сильная. Возможны сильные грозы.

Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 49,4 – Значительное количество гроз, отдельные из которых сильные.

12) 06.06.2022г 12:00UTC Форма облаков вертикального развития: Cu и Cb

Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 27,1 – Прогнозируются отдельные грозы.

Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 25,3 – Гроз быть не должно.

Индекс неустойчивости Cross Totals 22,2 – Энергия неустойчивости очень сильная. Возможны сильные грозы.

Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 47,5 – Прогнозируются рассеянные грозовые очаги.

13) 11.06.2022г 09:00UTC Форма облаков вертикального развития: Cu и Cb

Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 25,9 – Прогнозируются отдельные грозы.

Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 26,4 – Прогнозируется гроза.

Индекс неустойчивости Cross Totals 23,1 – Энергия неустойчивости очень сильная. Возможны сильные грозы.

Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 49,5 –Значительное количество гроз, отдельные из которых сильные.

14) 18.06.2022г 12:00UTC Форма облаков вертикального развития: Cu и Cb

Коэффициент неустойчивости по методу Вайтинга равен 25,7 – Прогнозируются изолированные грозы.

Индекс неустойчивости Vertical Totals равен 26,7 – Прогнозируется гроза.

Индекс неустойчивости Cross Totals 23,1 – Энергия неустойчивости очень сильная. Возможны сильные грозы.

Индекс Total Totals, вмещающий в себя два показателя: Vertical Totals и Cross Totals, равен 49,8 –Значительное количество гроз, отдельные из которых сильные.

Далее рассмотрены случаи с кучево-дождевой облачностью Cb, но без грозы и по ним также рассчитана оправдываемость прогноза гроз по индексам неустойчивости. Результаты показы в таблице 4.6.1. и на рисунке 4.6.2.

Таблица 4.6.1 – Оправдываемость прогноза гроз по индексам неустойчивости для случаев с Cb облачностью, когда грозы не было.

Метод	Прогнозировалось	Не прогнозировалось	Процент оправдываемости, %
Вайтинга (К-индекс)	10	4	29
Cross Totals	13	1	7
Vertical Totals	7	7	50
Total Totals	11	3	21

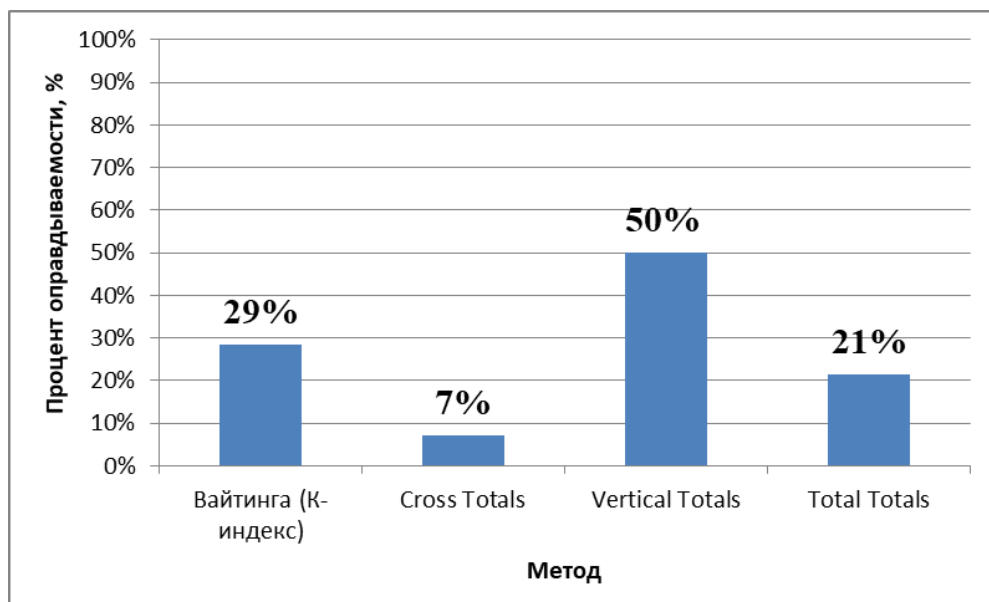


Рис 4.6.2. Гистограмма оправдываемости прогноза гроз по индексам неустойчивости для случаев с Сb облачностью, когда грозы не было.

В таблице 4.6.1 рассчитана оправдываемость прогноза гроз по индексам неустойчивости для случаев с Сb облачностью, когда грозы не было. На рисунке 4.6.2 видно, что наибольший процент оправдываемости у метода прогноза гроз Vertical Totals (50%), наименьший – у метода Cross Totals (7%). Низкий процент оправдываемости объясняется тем, что индексы не всегда могут показать отличий между Сb с грозой и без. Индексы учитывают лишь немногие факторы формирования гроз, поэтому большая вероятность, что прогноз окажется неудачным.

4.7. Расчёт общей оправдываемости прогнозов гроз

По формуле 4.7.1 выполнен расчет общей оправдываемости прогноза гроз учитывающий случаи с грозой и без грозы.

$$p = \frac{n_{11} + n_{22}}{N} \cdot 100\% \quad (4.7.1.)$$

В формуле: p_{11} и p_{22} – число случаев оправдавшихся прогнозов, а N – общее число прогнозов.

Метод Вайтинга: $P = (14+4)/28 \cdot 100\% = 64,3\%$

Cross Totals: $P = (13+1)/28 \cdot 100\% = 50\%$

Vertical Totals: $P = (11+7)/28 \cdot 100\% = 64,3\%$

Total Totals: $P = (14+3)/28 \cdot 100\% = 60,8\%$

Таблица 4.7.2 – Общая оправдываемость прогнозов гроз по методам Вайтинга, Cross Totals, Vertical Totals, Total Totals.

	Общ. оправдываемость, %
Вайтинга (К-индекс)	64.3
Cross Totals	50
Vertical Totals	64.3
Total Totals	60.8

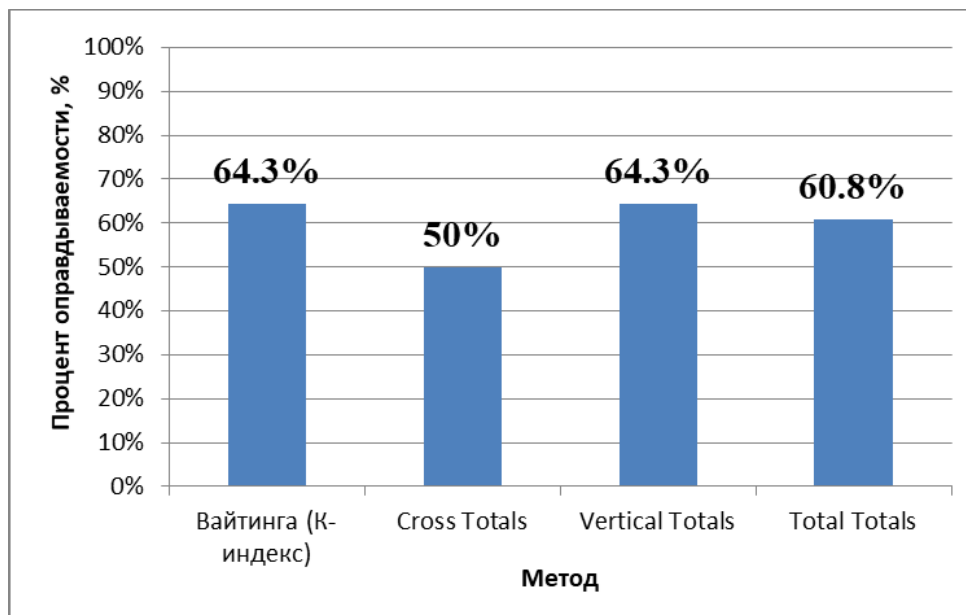


Рис 4.7.3. Гистограмма общей оправдываемости прогнозов гроз по методам Вайтинга, Cross Totals, Vertical Totals, Total Totals.

Была рассчитана общая оправдываемость прогнозов Вайтинга, Cross Totals, Vertical Totals, Total Totals (таблица 4.6.2). На рисунке 4.6.3 видно, что процент наиболее высокой общей оправываемости прогнозов у методов Вайтинга и Vertical Totals 64,3%, далее у Total Totals 60,8%, у Cross Totals – 50%.

Заключение

1. Сформирован архив данных за период с 1966 по 2023 гг. по данным метеостанции г. Ижевска, а так же проанализировано 30 карт приземного анализа и еще 14 случаев без грозовой активности.

2. Проанализирован сезонный и годовой ход количества конвективных явлений. Максимум случаев града наблюдалось в летние месяцы (в июле). Наименьшее – в сентябре, зимой – не было. Максимум случаев гроз наблюдалось в летние месяцы (в июле). Было зарегистрировано всего два случая зимних гроз (в декабре). Ливневой дождь и ливневой снег имеют нормальный среднегодовой ход. Максимум числа случаев ливневого дождя – в сентябре, минимум – зимой. Количество случаев ливневого снега максимально с ноября по январь.

3. Проанализированы синоптические ситуации и выявлены условия формирования конвективных явлений. Почти половина всех случаев (40%) - теплый сектор циклона. Далее по повторяемости идёт холодный фронт (30%) и фронт окклюзии (24%).

4. Были рассчитаны индексы конвективной неустойчивости по м. Вайтинга, а также индексы Cross Totals, Total Totals, Vertical Totals.

Случаи с грозой: Наибольшие проценты оправдываемости у методов прогноза гроз Вайтинга и Total Totals (100%), наименьший – у метода Vertical Totals (79%).

Случаи без гроз: Наибольший процент оправдываемости у метода прогноза гроз Vertical Totals (50%), наименьший – у метода Cross Totals (7%).

5. Была рассчитана общая оправдываемость прогнозов. Наибольший процент общей оправываемости у методов Вайтинга и Vertical Totals (64,3%), наименьший – у Cross Totals (50%).

Литературные источники

1. Богаткин О.Г., Тараканов Г.Г. Основы метеорологии. Санкт-Петербург, РГГМУ, 2006 – 228 с.
2. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физика Атмосферы. – СПб.: Гидрометеиздат, 1965. – 876 с.;
3. Погода и климат республики Удмуртия и Ижевска [Электронный ресурс] <https://www.meteonova.ru/klimat/18/Udmurtia/> — Режим доступа: (дата обращения: 10.05.2025).
4. Богаткин О. Г. Основы авиационной метеорологии. - СПб.: РГГМУ. 2009.
5. Пронив Е.Н Синоптические условия формирования зимних гроз. Санкт-Петербург, РГГМУ, 41 с.;
6. Предупреждение об опасных явлениях погоды [Электронный ресурс] <https://meteo-orw.ru/meteobooks/Прогноз%20опасных%20явлений.pdf> — Режим доступа: (дата обращения: 14.05.2025).
7. Назаренко А.В. Опасные природные явления. Часть III. Опасные явления погоды конвективного происхождения: учебно-методическое пособие для вузов. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр ВГУ, 2008. – 62 с.
8. Богаткин О. Г. Авиационные прогнозы погоды. – СПб.: изд. «БХВПетербург». – 2010.
9. Всемирная метеорологическая организация (ВМО). Руководство по прогнозированию конвективных явлений. — Женева: WMO, 2010. — 112 с.
10. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат, 1985.
11. Зверев А. С. Синоптическая метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 711 с.

12. Иванов В. Н. Современные методы прогноза грозовой активности//Метеорология и гидрология. — 2018. — № 5. — С. 45-53.
13. Хромов С. П., Петросянц М. А. Метеорология и климатология. — М.: Изд-во МГУ, 2006. — 583 с.
14. Гущина Д. Ю., Кобышева Н. В. Климатология с основами метеорологии. — М.: Академия, 2012. — 224 с.