



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 синоптических условий формирования неблагоприятных
погодных явлений на западном отрезке Транссибирской
магистрали»

Исполнитель Смирнова Юлия Алексеевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук
(учёная степень, учёное звание)
Ефимова Юлия Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(учёная степень, учёное звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

« 06 » июня 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Содержание

Введение	3
1. Характеристики циклонов и антициклонов	5
1.1 Типы циклонов и антициклонов, стадии их развития	5
1.2 Условия возникновения циклонов.....	8
1.3 Свойства циклонов на различных стадиях развития.	9
1.4 Условия формирования и характеристики антициклонов.	11
2. Физико-географические и климатические особенности региона исследования.....	15
2.1 Обзор физико-географического положения Транссибирской магистрали	15
2.2 Обзор основных климатических характеристик района исследования	15
2.3 Глобальное изменение климата	17
3. Анализ формирования синоптических условий неблагоприятных погодных явлений по маршруту Транссибирской магистрали.....	19
3.1 Цели и задачи научно-исследовательской работы	19
3.2 Анализ условий формирования экстремально низких температур, влияющих на западный отрезок Транссибирской магистрали	22
3.3 Анализ условий формирования экстремальных сумм осадков	40
Заключение	54
Список используемых источников	56

Введение

Транссибирская магистраль — одна из крупнейших транспортных артерий мира, соединяющая европейскую и азиатскую части России. Её протяжённость составляет более 9 тысяч километров. Однако эксплуатация магистрали связана с рядом неблагоприятных погодных условий, обусловленных суровым климатом и горным рельефом. Это приводит к возникновению различных неблагоприятных погодных явлений, которые могут оказывать негативное влияние на безопасность и эффективность перевозок.[1]

В последние десятилетия наблюдается тенденция к увеличению частоты и интенсивности таких явлений. Поэтому анализ формирования синоптических условий, способствующих возникновению неблагоприятных погодных явлений, становится актуальным вопросом для обеспечения безопасности и стабильности функционирования Транссибирской магистрали.

Целью данной дипломной работы является проведение анализа формирования синоптических условий, приводящих к возникновению неблагоприятных погодных явлений на маршруте Транссибирской магистрали за последние 30 лет. В ходе исследования будут рассмотрены основные факторы, влияющие на формирование таких условий, а также выявлено их пространственно-временное распределение.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

Изучить климатические особенности региона и основные факторы, влияющие на формирование синоптических условий.

Проанализировать данные метеонаблюдений за последние 30 лет и выявить основные тенденции изменения синоптической ситуации.

Определить наиболее часто встречающиеся типы неблагоприятных погодных явлений и их пространственное распределение по маршруту Транссибирской магистрали.

Оценить влияние выявленных факторов на возникновение и развитие неблагоприятных погодных явлений.

В первой главе рассмотрены характеристики циклонов и антициклонов.

Во второй главе рассмотрены физико-географические и климатические особенности региона исследования.

В третьей главе проведен синоптический анализ формирования неблагоприятных условий по выбранным станциям западного отрезка Транссибирской магистрали.

1. Характеристики циклонов и антициклонов

1.1 Типы циклонов и антициклонов, стадии их развития

Типы циклонов и антициклонов, а также стадии их развития можно классифицировать в зависимости от географического района и особенностей их формирования и развития:

- Циклоны умеренных широт:
- Фронтальные
- Нефронтальные (местные, термические)
- Циклоны, развившиеся на одном фронте, образуют семейство или серию.
- Тропические циклоны:
- Ураганные (ураганы, тайфуны)
- Слабые циклонические образования экваториальной зоны.
- Антициклоны умеренных широт:
- Промежуточные (между циклонами одного семейства)
- Заключительные (в тылу последнего циклона)
- Нефронтальные (местные, термические).
- Субтропические антициклоны. [3]

Циклоны и антициклоны могут быть одноцентровыми и многоцентровыми. В случае многоцентровых систем два или более центров имеют общие замкнутые изобары. Если два циклона сопоставимой интенсивности имеют общие замкнутые изобары, их называют сопряжёнными. Также можно говорить о двухцентровых и многоцентровых областях циклонической и антициклонной активности. Если младший циклон по размерам образуется в системе более сильного циклона, его обозначают как вторичный или частный. Для антициклонов аналогично существует понятие вторичного антициклона или отрога. Если рассматривать все полушарие, циклоны одного семейства могут иметь общие замкнутые изобары. В средней и верхней тропосфере многоцентровых систем становится меньше, а барические системы выглядят проще на картах. В зависимости от направления перемещения различают

траектории циклонов и антициклонов: северные, западные, южные и восточные. Например, можно выделить южные средиземноморские, южные балканские и другие циклоны. Направление перемещения может изменяться со временем, а траектории обычно криволинейные. Циклоны чаще движутся с юго-запада на северо-восток, антициклоны — с северо-запада на юго-восток. По вертикальной протяжённости циркуляции различают:

- Низкие, когда замкнутые изобары на приземной карте, но отсутствуют на более высоких уровнях.

- Средние, когда замкнутые изогипсы есть в нижней и средней тропосфере, но отсутствуют на высоких уровнях. - Высокие, когда замкнутые изогипсы наблюдаются на всех картах стандартных уровней.

- Верхние, когда изогипсы есть на некоторых уровнях тропосферы, но отсутствуют на приземной карте. - Стратосферные, которые простираются из тропосферы в нижнюю стратосферу. Некоторые авторы могут различать разные типы циклонов и антициклонов по критериям, отличным от приведённых выше, но общая классификация выглядит именно так.[5]

При рассмотрении жизни циклона или антициклона от момента их возникновения до исчезновения можно выделить следующие стадии развития:

- Начальная стадия - от первых признаков образования циклона (антициклона) до появления первой замкнутой изобары, кратной 5.

- Стадия молодого циклона (антициклона) - стадия углубления циклона или усиления антициклона.

- Стадия максимального развития циклона (антициклона).

- Стадия заполнения циклона, то есть ослабления или разрушения антициклона.

Кроме того, исходя из фронтальной природы циклонов, можно выделить такие стадии:

- Фронтальная волна - от первых признаков зарождения циклона на фронте до появления первой замкнутой изобары, кратной 5.

- Молодой циклон - от оформления циклона до начала окклюдирования.

- Окклюдированный циклон - от начала окклюдирования до его исчезновения.

В общем, стадии развития циклона в обоих случаях практически совпадают, если стадию окклюдированного циклона разделить на две: стадию максимального развития и стадию заполнения.[4]

Каждая стадия характеризуется уникальной трёхмерной структурой циклона или антициклона и различными погодными условиями. Обычно в процессе развития они трансформируются из низкого подвижного барического образования в высокое, малоподвижное образование с вертикальной осью. Продолжительность каждой стадии варьируется от нескольких часов до нескольких суток, причём начальные стадии (например, стадия молодого циклона) обычно длятся не более 12 часов.

Следует отметить, что циклон или антициклон не всегда проходят все стадии развития. Часто фронтальные волны не получают дальнейшего развития. Даже молодой циклон может начать заполняться, а молодой антициклон - разрушаться, не достигнув максимальной стадии развития.

Разделение на стадии является условным, так как между ними нет чётких границ, но это выделение имеет важное значение для понимания и прогнозирования, так как отражает общие закономерности развития каждого циклона и антициклона.

Скорости перемещения циклонов и антициклонов варьируются. На первой стадии развития низкие циклоны и антициклоны перемещаются со скоростью около 40-50 км/ч, соответствующей скорости ведущего потока; в отдельных случаях могут достигать 100 км/ч. На поздней стадии развития, когда они становятся высокими барическими образованиями, их скорость резко уменьшается, и они становятся малоподвижными, часто описывая неправильные петлеобразные траектории. Средняя скорость перемещения составляет примерно 30-40 км/ч. [2]

В поздней стадии развития антициклоны достигают больших горизонтальных размеров, чем циклоны. Диаметр хорошо развитого

одиноким циклоном составляет около 1000 км, тогда как у антициклона - примерно 2000 км. Максимальные размеры могут превышать 4000 км.

1.2 Условия возникновения циклонов

Нефронтальные (термические) циклоны формируются в основном летом над сушей и зимой над тёплыми водами морей. Они не связаны с атмосферными фронтами, обладают небольшими горизонтальными размерами и незначительной вертикальной развитостью (до 1–1.5 км).

Причиной их возникновения служит неравномерное нагревание Земной поверхности и образование устойчивых местных восходящих потоков воздуха над крупными территориями (в радиусе 100–200 км), а также появление районов с пониженным давлением. В условиях малой градиентной атмосферы может быстро возникнуть замкнутая циклоническая циркуляция.

В некоторых случаях термические циклоны могут достигать больших размеров и иметь несколько замкнутых изобар (например, циклоны летом над Средней Азией или зимой над Чёрным морем). При определённых условиях, когда в систему такого циклона попадает фронт, он может развиваться и трансформироваться в обычный фронтальный циклон.[5]

Далее мы сфокусируемся только на фронтальных циклонах, которые могут образовываться на стационарных, холодных и тёплых фронтах, а также у точек окклюзии существующих циклонов.

Во всех случаях для возникновения и дальнейшего роста циклона необходимы циркуляционные условия, которые обеспечивают относительное снижение давления в области формирования циклона.

Опыт показывает, что образование циклонов действительно связано с высотными фронтальными зонами и струйными течениями. Обычно развивающийся циклон начинается на антициклонической стороне струйного течения, а в процессе дальнейшего развития переходит на циклоническую сторону. Во время образования и формирования циклона на фронте возникает

волна, амплитуда которой со временем увеличивается. Если амплитуда волны остаётся постоянной, циклон завершает своё существование на стадии волны. Волна считается неустойчивой, если её амплитуда возрастает, и устойчивой, если амплитуда уменьшается либо не меняется. Критерием устойчивости может служить длина волны: фронтальная волна длиной от 800 до 2800 км является неустойчивой и развивается в циклон. Таким образом, процесс образования циклона можно описать следующим образом: относительное падение давления, завихрение воздушных потоков и формирование волны на фронте.

1.3 Свойства циклонов на различных стадиях развития.

Образование и эволюция барических систем связаны с определёнными изменениями в термобарическом поле тропосферы, что вызывает волнообразные деформации фронтов и высотных фронтальных зон.

Стадия волны (начальная стадия развития циклона). На фронте формируется волнообразный изгиб, связанный с образованием области пониженного давления и началом циклонического завихрения воздушного потока. При дальнейшем развитии волны в циклон появляется слабое возмущение, проявляющееся в деформации изогипс. Центр циклона располагается под циклогенетической частью фронтальной зоны. [3]

Термический фактор создаёт падение давления перед тёплым фронтом из-за адвекции тепла и рост давления за холодным фронтом из-за адвекции холода, при этом линия нулевой адвекции проходит через центр циклона. Вихревой фактор также снижает давление в большей части волны, в то время как нулевая изаллобара находится далеко от центра в тылу циклона. С течением времени фронтальная зона продолжает деформироваться. Адвекция тепла усиливает высотный гребень, а адвекция холода углубляет высотную ложбину, постепенно увеличивая амплитуду высотной волны.

Молодой циклон. Из-за продолжающегося падения давления завихрение потоков приводит к дальнейшей волновой деформации фронта. В циклон формируется чётко выраженный тёплый сектор с хорошо очерченными холодным и тёплым фронтами. Центр циклона продолжает находиться под дельтой фронтальной зоны. Адвекция холода охватывает большую часть циклона, поскольку холодный фронт движется быстрее тёплого. Для углубляющегося циклона характерно, что адвекция холода сзади оказывается более мощной, чем адвекция тепла спереди. Барическое поле в верхних слоях сильно возмущено, явно проявляются высотные ложбины и гребни.

В молодом циклоне можно выделить три зоны, которые заметно отличаются по погодным условиям.

Зона 1 — передняя и центральная части холодного сектора циклона перед тёплым фронтом. В этой зоне погоду определяет тёплый фронт. Чем ближе к центру циклона и к линии тёплого фронта, тем мощнее облачная система и выше вероятность осадков.

Зона 2 — тыловая часть холодного сектора циклона за холодным фронтом. Здесь погода зависит от холодного фронта и неустойчивой холодной воздушной массы. При достаточной влажности и значительной неустойчивости могут наблюдаться ливневые осадки. Если холодный воздух сухой и развиваются нисходящие движения, то погода может быть безоблачной или малооблачной.

Зона 3 — тёплый сектор между тёплым и холодным фронтами. Тёплая воздушная масса, как правило, влажная и устойчивая, поэтому погода соответствует типичным условиям. Зимой в теплом секторе молодого циклона над сушей могут формироваться сплошные облака, а летом в зависимости от влажности и устойчивости наблюдается разная облачность, включая грозы.[4]

Медленно углубляющиеся циклоны со временем медленно заполняются, в то время как быстро углубляющиеся циклоны заполняются быстрее. В окклюдированном циклоне со вторичным тёплым сектором можно выделить

три погодные зоны, аналогичные тем, что наблюдаются в молодом циклоне, а также четвертую зону — настоящий тёплый сектор на периферии циклона.

Во вторичном теплом секторе, даже в холодный сезон, часто наблюдаются ливневые осадки из-за значительной неустойчивости относительно тёплой массы воздуха, находящейся за фронтом окклюзии, которая, несмотря на холодные слои в верхней тропосфере, сохраняет теплоту в нижних слоях. Это отличие условий погоды между вторичным тёплым сектором окклюдированного циклона и тёплым сектором молодого циклона наглядно выделяется при сравнении различных наблюдений.

В окклюдированном циклоне, где вторичный тёплый сектор отсутствует, погодные условия можно разделить на две зоны: 1) центральная и передняя часть циклона перед фронтом окклюзии и 2) тыловая часть за фронтом окклюзии. Различия в погоде между этими зонами обусловлены свойствами воздушных масс с обеих сторон фронта.[5]

По мере заполнения окклюдированного циклона фронты постепенно размываются, и сплошная зона осадков распадается на отдельные участки, в результате чего условия погоды выравниваются по всем секторам, и в конечном итоге циклон теряет свою самостоятельность, хотя на высотах его следы могут быть видны ещё долго.

1.4 Условия формирования и характеристики антициклонов.

Условия формирования и характеристики антициклонов на различных стадиях их развития связаны с процессами, происходящими в циклонах.

Эти процессы представляют собой единое целое: в одном регионе происходит недостаток воздушной массы, а в другом — избыток. Общим моментом является то, что развитие циклонических и антициклонных систем зависит от одной и той же высотной фронтальной зоны, но с различными участками.[3]

Одновременно действующие факторы могут оказывать влияние на изменение давления в противоположном направлении. Для успешного

антициклогенеза важно, чтобы доминировали те факторы, которые способствуют относительному росту давления в данной области, при этом рассматривается рост давления, вызванный не трансляцией изобар, а изменением барического поля.

Антициклоны обычно формируются под входом в высокие фронтальные зоны (это циклоническая часть). Они выглядят как подвижный температурно асимметричный гребень, находящийся в тылу циклона.

Нефронтальные (термические) антициклоны небольших размеров могут возникать над охлаждённой подстилающей поверхностью. Летом над сушей такие образования появляются только в ночное время, а зимой могут существовать достаточно долго и превращаться в хорошо развитые антициклоны при определённых условиях термобарического поля.

Фронтальные антициклоны — это те, развитие которых связано с высотными фронтальными зонами. В отличие от циклонов, в центре антициклонов линии фронтов не проходит на приземной карте. Это связано с тем, что воздух оттекает от центра во все направления, что предотвращает сближение разнородных воздушных масс. Линии фронтов могут проходить по краям антициклонов или пересекать их гребни, но менее выражено, чем в циклонах.[4]

В верхних слоях атмосферы фронтальная поверхность может находиться и в центре антициклона, однако обычно образуются инверсные слои различного происхождения.

Приземные инверсные слои возникают из-за охлаждения воздуха от поверхности. В центре антициклонов при ясной погоде и слабом ветре создаются идеальные условия для радиационного охлаждения и образования приземного инверсного слоя. Этот слой может быть довольно тонким и легко разрушаться в течение дня из-за прогрева поверхности.

Поскольку антициклоны формируются не на линии фронта, их классификация затруднительна по сравнению с фронтальным циклогенезом. Существуют заключительные антициклоны, развивающиеся за холодным

фронтом в тылу циклона, а также может наблюдаться антициклогенез перед тёплым фронтом уже существующего циклона. Однако влияние тыловой части циклона, расположенного на востоке нельзя игнорировать.

Нередко возникают новые антициклоны внутри существующих, а также происходит слияние двух антициклонов. Например, антициклоны в умеренных широтах, перемещаясь в субтропики, поддерживают длительное существование субтропических антициклонов.

Поскольку в антициклонных системах атмосферные фронты не развиваются, погода в этих областях в основном определяется характеристиками воздушных масс и их взаимодействием с подстилающей поверхностью. В центральных частях антициклонов, из-за нисходящих движений воздуха, обычно наблюдается ясная погода. Однако в холодное время года, при высокой влажности воздуха, под инверсионным слоем могут образовываться сплошные облака Stratus и Stratocumulus. Летом и зимой также могут возникать радиационные туманы.[5]

На краях антициклонов погода может напоминать условия, наблюдающиеся в соседних циклонах. Северная окраина часто соприкасается с тёплым сектором соседнего циклона, где в холодное время года наблюдается значительная облачность, а иногда и слабые осадки. Летние условия в этой области могут включать небольшое количество облаков верхнего яруса и развитие кучевых облаков в дневное время.

Западная окраина антициклона находится рядом с областью низкого давления. Здесь могут появляться облака Cirrus как первые сигналы тепла фронта. В холодный период в этом секторе могут наблюдаться облака Stratocumulus и Stratus, которые при достаточной влажности могут вырастать в высоту, создавая зоны слабых осадков.

Когда антициклон остаётся на месте длительное время (блокирующий антициклон), на его западной границе могут накапливаться параллельные фронты, приводящие к образованию больших градиентов температуры и

давления, а также к сильным ветрам. Летом, при высокой температуре и влажности на западной окраине, могут наблюдаться грозы.

Южная окраина антициклона, в свою очередь, соседствует с северной частью циклона и может демонстрировать облака верхнего и среднего яруса, а зимой из облаков *Altostratus* может выпадать снег. В хорошо развитом антициклоне зимой наблюдаются большие градиенты давления и сильные ветры, что может привести к метелям и местным ветрам.

Восточная окраина антициклона граничит с тыловой частью циклона. Здесь в летние часы, при нестабильной воздушной массе, могут образовываться облака *Cumulus* и даже *Cumulonimbus*, при этом возможны ливневые дожди. Зимой могут наблюдаться ясные условия или редкие облака *Stratocumulus*, возникающие из распада облаков *Cumulonimbus* или перемещением облаков из северной части антициклона.

Циклон и антициклон представляют собой противоположности во многих аспектах, включая погодные условия. В то время как циклон ассоциируется с пасмурной и дождливой погодой, антициклон вызывает представления о ясной и солнечной погоде. Хотя в целом это соответствует реальности, такое обобщение бывает слишком простым.[2]

Погода внутри каждого циклона и антициклона значительно варьируется в разных секторах и также меняется в процессе их развития. Значительные различия в погоде наблюдаются среди различных циклонов и антициклонов, что определяется особенностями воздушных масс и атмосферных фронтов, а также зависит от времени года. Поэтому для точного прогноза погоды необходимо учитывать индивидуальные характеристики каждого циклона и антициклона, а также любой другой барической системы.

2. Физико-географические и климатические особенности региона исследования

2.1 Обзор физико-географического положения Транссибирской магистрали

Транссибирская магистраль проходит через разнообразные физико-географические зоны, начиная от европейской части России и простираясь до Дальнего Востока.[6]

Европейская часть России: Начиная с Москвы, маршрут проникает через лесистые равнинные зоны, характерные для европейской части России. Поля и леса представляют собой типичные пейзажи этого региона.[7]

Урал: По мере движения на восток, магистраль пересекает Уральские горы, где ландшафт становится более гористым и скалистым. Это одно из наиболее живописных мест на маршруте.[8]

Сибирь: Проезжая через Сибирь, пейзажи меняются от лесов и равнин до тундры на севере и таежных лесов. Реки и озёра в этом регионе обычны, и местные города и поселки часто расположены вдоль водоемов.[9]

Дальний Восток: По мере приближения к Тихому океану, ландшафт становится более горным, а климат — увлажнённым. Здесь встречаются плотные леса и разнообразная фауна. Рельеф становится более холмистым и гористым, особенно в районе Байкала и Приморья.[10]

Особенности: По всему маршруту Транссибирской магистрали можно наблюдать изменение климата, растительности и географии. Это один из крупнейших и самых разнообразных железнодорожных маршрутов в мире, проходящий через различные климатические зоны и типы ландшафтов.

2.2 Обзор основных климатических характеристик района исследования

В данном разделе рассматривается климат региона, в котором проходит маршрут Транссибирской магистрали, а также его влияние на формирование синоптических условий и возникновение неблагоприятных погодных явлений. Анализируются данные о среднегодовых температурах, количестве осадков, ветре, влажности и других климатических параметрах.

Климат региона, по которому проходит Транссибирская железнодорожная магистраль, довольно разнообразен. Маршрут проходит через несколько климатических поясов и зон, начиная от умеренного пояса на западе и заканчивая резко континентальным климатом на востоке. Такое разнообразие климатических условий влияет на формирование синоптической обстановки и возникновение различных погодных явлений в этом регионе.

Например, на западе Транссиба климат преимущественно умеренный, с теплым летом и мягкой зимой. Средняя температура летом составляет около +20-22 градусов Цельсия, зимой - около -5-7 градусов. Влажность воздуха обычно высокая, что способствует образованию туманов и осадков.[11]

По мере продвижения на восток климат становится более континентальным, с более холодной зимой и жарким летом. Средняя температура зимой опускается до -15-20 градусов, а летом может достигать +30-35 градусов. Влажность воздуха также уменьшается, что приводит к уменьшению количества осадков и увеличению вероятности возникновения пыльных бурь.

Такое разнообразие климатических условий создает различные погодные условия на протяжении всего маршрута Транссибирской железнодорожной магистрали. Это может привести к возникновению неблагоприятных погодных явлений, которые могут затруднить движение поездов или вызвать аварии.[12]

Например, сильный ветер, метели, грозы, туманы или гололед могут стать причиной задержек в движении поездов или даже аварий.

Таким образом, анализ формирования синоптической обстановки в регионе Транссибирской железной дороги и выявление закономерностей возникновения неблагоприятных погодных явлений является важной частью работы метеорологов и специалистов по безопасности движения на железнодорожном транспорте.

2.3 Глобальное изменение климата

Глобальное изменение климата является одной из самых острых проблем XXI века. Повышение средней температуры Земли, таяние ледников, учащение экстремальных погодных явлений и повышение уровня Мирового океана вызывают серьезные опасения у ученых, политиков и общественности. В этой статье рассмотрены современные гипотезы, научные мнения и прогнозы, касающиеся климатических изменений.

Большинство климатологов связывают глобальное потепление с деятельностью человека, особенно с выбросами парниковых газов (CO_2 , метан, закись азота). Согласно Межправительственной группе экспертов по изменению климата (МГЭИК), концентрация CO_2 в атмосфере увеличилась на 50% с доиндустриального уровня (с 280 ppm до 420 ppm в 2023 году). Гипотеза антропогенного воздействия подтверждается корреляцией между ростом промышленных выбросов и повышением температуры, а также моделированием климата, показывающим, что без учета антропогенного фактора текущее потепление не объясняется.

В то же время некоторые исследователи считают, что современное потепление является частью естественных климатических циклов, таких как миланковичские циклы (изменение орбиты Земли), солнечная активность [NOAA, 2021], а также вулканическая активность. Критики антропогенной теории указывают, что в истории Земли были периоды потепления и похолодания без участия человека.

Современные научные мнения демонстрируют значительный консенсус среди климатологов. Согласно метаанализу, 97% ученых согласны с тем, что человек является основной причиной глобального потепления. Однако существуют и альтернативные точки зрения. Например, Ричард Линдзен утверждает, что климатические модели переоценивают чувствительность климата к CO_2 , а Бьёрн Ломборг признает потепление, но считает, что его последствия преувеличены.

Прогнозы на будущее варьируются в зависимости от сценариев. В Шестом оценочном докладе (AR6, 2021) МГЭИК рассматривает оптимистичный сценарий, предполагающий ограничение потепления до $+1,5^{\circ}\text{C}$ к 2100 году при резком сокращении выбросов, и пессимистичный сценарий, при котором температура может вырасти на $+4,4^{\circ}\text{C}$, что приведет к катастрофическим последствиям. Среди возможных последствий к 2050 году называют учащение волн жары, наводнений и засух, а к 2100 году — повышение уровня моря на 0,5–2 м, что создаст угрозу для прибрежных городов. Экономические потери могут достичь 18% мирового ВВП, если температура вырастет на $+3,2^{\circ}\text{C}$.

Глобальное изменение климата остается сложной и многогранной проблемой. Хотя антропогенный фактор признан основной причиной потепления, дискуссии о степени влияния естественных процессов продолжаются. Будущее климата зависит от мер по декарбонизации экономики и адаптации к неизбежным изменениям.

3. Анализ формирования синоптических условий неблагоприятных погодных явлений по маршруту Транссибирской магистрали

3.1 Цели и задачи научно-исследовательской работы

Актуальность дипломной работы:

Транссибирская магистраль (Транссиб) является ключевой транспортной артерией России, обеспечивающей грузовые и пассажирские перевозки между европейской частью страны и Дальним Востоком. Западный отрезок магистрали, проходящий через густонаселенные и экономически значимые регионы, подвержен воздействию разнообразных неблагоприятных погодных явлений, таких как сильные снегопады, метели, гололед, экстремальные температуры, туманы и шквалистые ветры. Эти явления создают значительные риски для безопасности движения, увеличивают износ инфраструктуры, приводят к задержкам поездов и экономическим потерям.

В условиях изменения климата частота и интенсивность опасных метеорологических явлений могут возрастать, что требует более глубокого понимания синоптических процессов, приводящих к их формированию. Анализ синоптических условий позволяет выявить типичные атмосферные

структуры, способствующие возникновению неблагоприятных погодных явлений, и разработать более точные методы их прогнозирования.

Исследование данной темы имеет высокую практическую значимость для:

транспортной отрасли – улучшение системы метеорологического обеспечения железнодорожного транспорта
метеорологии и климатологии – углубление знаний о механизмах формирования опасных явлений в регионе
экономики – минимизация ущерба от перебоев в работе Транссиба.

Таким образом, изучение синоптических условий формирования неблагоприятных погодных явлений на западном участке Транссибирской магистрали является актуальной научной и прикладной задачей, направленной на повышение устойчивости транспортной системы к климатическим вызовам.

Цель: анализ синоптических условий, способствующих возникновению неблагоприятных погодных явлений на западном отрезке Транссибирской магистрали.

Задачи:

1. Получить архив данных по среднесуточным температурам воздуха и осадкам на выбранных станциях западного отрезка Транссибирской магистрали за период 1993-2022 гг.
2. Выделить и проанализировать случаи аномально низких среднесуточных температур и синоптические условия их формирования.
3. Выделить и проанализировать случаи аномальных осадков и синоптические условия их формирования.

Территория исследования представлена на карте рисунка 3.1. Транссибирская магистраль простирается от Москвы (Ярославского вокзала)

до Владивостока, пересекая восемь часовых поясов и покрывая расстояние около 9288 км, что делает её самой длинной железной дорогой в мире.



Рисунок 3.1 Карта маршрута Транссибирской магистрали

Для выполнения бакалаврской работы и описания выделенного отрезка были выбраны следующие пункты: Москва, Нижний Новгород, Киров, Ветлуга, Пермь и Екатеринбург. Период исследования составил с 1993 по 2022 год.

Данные о температуре воздуха и количестве осадков были получены из архива ВНИИГМЦД (Обнинск).

3.2 Анализ условий формирования экстремально низких температур, влияющих на западный отрезок Транссибирской магистрали

Первым этапом работы было создание архива среднесуточных температур на выбранных станциях по маршруту Транссибирской магистрали. В бакалаврской работе для анализа был выбран холодный период с ноября по март. В качестве границы для аномально низких значений температур было принято значение -30°C на основании Распоряжения от 31 октября 2011 г. N 2339р Об утверждении перечня опасных для железнодорожного транспорта явлений погоды. За период исследования с 1993 г. по 2022 г. был выявлен 71 случай экстремально низких температур. Часть полученного архива представлена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Фрагмент архива случаев с аномально низкой температурой воздуха по маршруту Транссибирской магистрали.

Станция	Год	Месяц	День	Температура
Пермь	1994	2	11	-32,5
Киров	1994	2	10	-30,1
Киров	1994	2	11	-31,1
Ветлуга	1994	2	11	-30,7
Пермь	1995	12	24	-30,2
Киров	1995	12	24	-30,7
Ветлуга	1996	12	27	-31,2
Екатеринбург	1997	12	15	-30,4
Пермь	1997	1	7	-32,7
Пермь	1997	1	8	-31,2
Киров	1997	1	6	-30,4
Киров	1997	1	7	-30,8
Киров	1997	12	15	-31
Ветлуга	1997	12	15	-31,7
Ветлуга	1997	12	16	-30,5
Киров	1998	2	14	-30,1
Пермь	1999	1	1	-30,7
Пермь	1999	1	2	-37,1
Киров	1999	1	26	-31,6
Киров	1999	2	3	-30,2
Пермь	2000	12	6	-30,2

В таблице 3.2 представлено распределение количества случаев на каждой станции по месяцам и общее количество случаев экстремально низких температур. На станциях в Москве и Нижнем Новгороде не наблюдалось

температур ниже -30°C , в связи с чем данные с вышеперечисленных станций в таблице не представлены. Для наглядности ниже приведен рисунок 3.2 с диаграммой повторяемости anomalно низкой температуры по месяцам.

Таблица 3.2 Распределение количества случаев по месяцам и станциям.

Станция	Месяц					Общее кол-во случаев
	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	
Ветлуга	0	10	6	1	0	17
Киров	0	7	10	4	0	21
Пермь	0	10	13	1	0	24
Екатеринбург	0	3	10	7	0	20

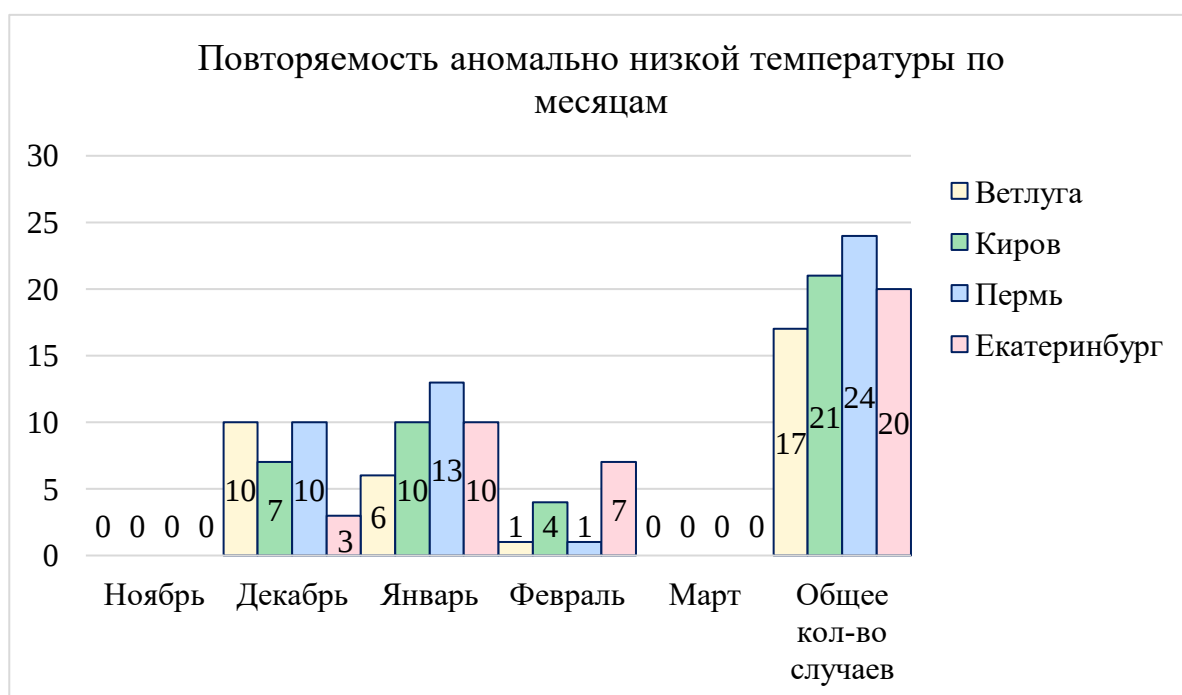


Рисунок 3.2 Повторяемость anomalно низкой температуры по месяцам

Проанализировав данные, представленные в диаграмме, можно сделать следующие выводы: в ноябре и марте не наблюдались такие низкие показатели температуры.

Чаще всего anomalно низкие температуры были зафиксированы в Перми (24 случая).

При рассмотрении конкретных месяцев мы можем сделать следующие выводы:

В декабре больше всего случаев наблюдалось в Ветлуге и Перми (по 10 случаев на каждой станции), в Кирове - 7, а в Екатеринбурге меньше всего - 3 случая.

В январе больше всего случаев аномально низких температур наблюдалось в Перми - 13, в Кирове и Екатеринбурге по 10, а в Ветлуге меньше всего - 6 случаев.

В феврале больше всего случаев было в Екатеринбурге - 7, в Кирове - 4, а в Ветлуге и Перми по одному случаю.

Рассмотрим синоптические условия экстремально низких температур.

Все случаи были поделены на групповые и одиночные. Рассмотрим более подробно самые интересные случаи, в которых температура оставалась экстремально низкой на протяжении нескольких дней:

В качестве примера рассмотрим групповой случай 25-30 декабря 2002 года. В течение всего периода на отрезке Транссибирской магистрали наблюдались аномально низкие температуры. В разные дни они фиксировались на станциях Ветлуга, Пермь и Киров. Рассмотрим распространение аномального холода.

25 декабря 2002 года. Синоптическая ситуация этого дня представлена на рисунке 3.3.

Над территорией исследования наблюдалось формирование мощного циклона. На высоте 1.5 км (карта поля температуры на АТ-850 рисунок 3.3) наблюдалась область холода над рассматриваемым отрезком Транссибирской магистрали.

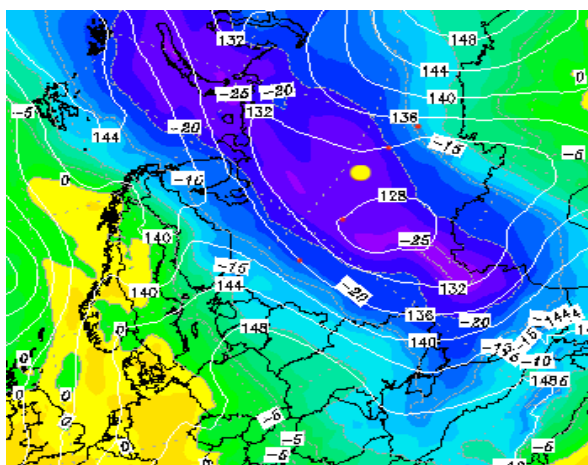
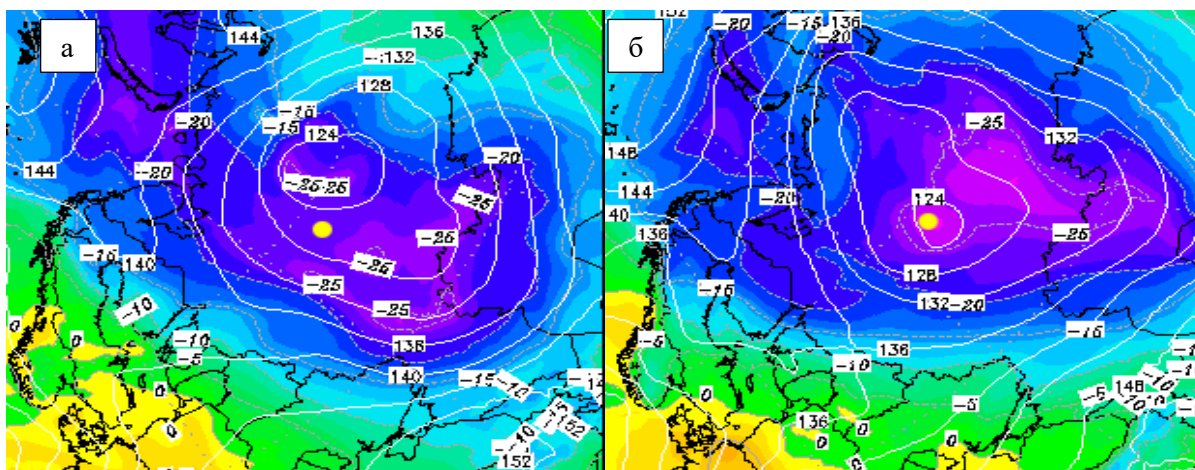


Рисунок 3.3 Фрагмент синоптической карты за 25 декабря 2002 года в 18 UTC, на высоте 850 гПа.

Синоптическая ситуация характеризовалась двухцентральной депрессией: первый центр располагался над Средним Поволжьем (Татарстан, Ульяновск, Самара), а второй — над Карским морем и Обской губой. Это привело к интенсивному меридиональному переносу арктических воздушных масс вглубь континента. В районе исследования на карте АТ-850 наблюдается очаг аномального холода, в который попадает только Ветлуга.

26–27 декабря. Синоптическая ситуация этих дней представлена на рисунках 3.4а,б

Усиление циклонального режима над Уралом способствовало стационарированию холодного воздуха. Ветлуга оставалась под влиянием устойчивого северного потока, что усилило радиационное выхолаживание, т. к. в тыловой части циклона не наблюдалось облачности.



К концу периода на территорию исследования стал смещаться атлантический циклон, в Перми сохранялись экстремальные значения (-32.1°C), так как Пермь оказалась в передней части циклона, до облачной массы теплого фронта (теплый сектор циклона прослеживается на АТ 850 (рис. 3.8)).

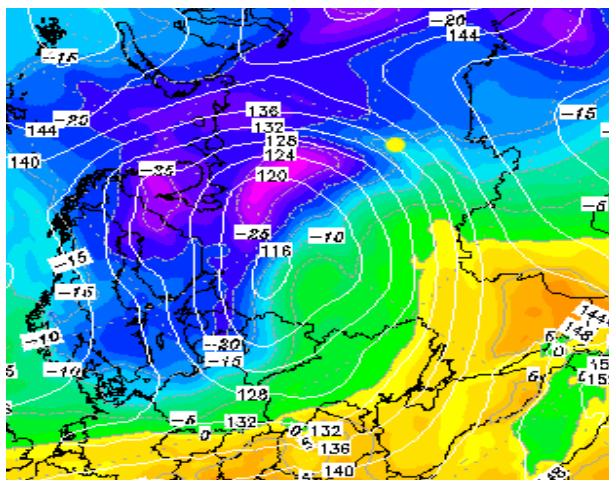


Рисунок 3.6 Фрагмент синоптической карты за 30 декабря 2002 года в 18 UTC, на высоте 850 гПа.

Над Восточной частью России наблюдалась антициклоническая деятельность.

Анализ последствий

Устойчивые циклонические условия, преобладание над территорией исследования северных и тыловых частей циклонов и адвекция арктического воздуха вызвали критическое охлаждение инфраструктуры Транссиба. Данный эпизод подчеркивает необходимость использования долгосрочных прогнозов блокирующих процессов для минимизации рисков в зимний период.

2006 год

16 января 2006 года. Синоптическая ситуация этого дня представлена на рисунке 3.7.

Началось мощное арктическое вторжение, охватившее Екатеринбург, Пермь и Киров. Над Башкортостаном, Татарстаном и Пермской областью сформировался обширный очаг холода (рисунок 3.7) чуть севернее центра циклона, а также высокоградиентное барическое поле еще севернее центра

циклона. Температуры опустились до экстремальных значений: в Перми зафиксировали $-34,2^{\circ}\text{C}$, в Екатеринбурге $-33,4^{\circ}\text{C}$, в Кирове $-31,9^{\circ}\text{C}$.

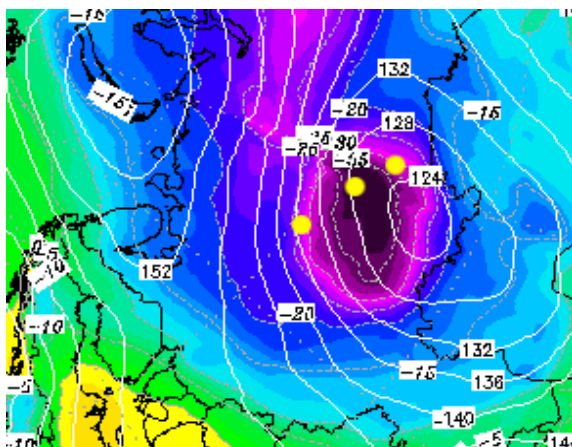


Рисунок 3.7 Фрагмент синоптической карты за 16 января 2006 года в 18 UTC, на высоте 850 гПа

Холодные воздушные массы с севера свободно проникли в регион, а мощный антициклон, расположившийся севернее с центром над Карским морем, препятствовал их оттоку, создав условия для циркуляции холодного воздуха.

17 января. Синоптическая ситуация этого дня представлена на рисунке 3.8

К 17 января очаг холода несколько сместился к югу, сохранив влияние на Пермь и Ветлугу, где температуры составили $-30,2^{\circ}\text{C}$. Арктический воздух продолжал доминировать, хотя его интенсивность немного снизилась по сравнению с предыдущим днём.

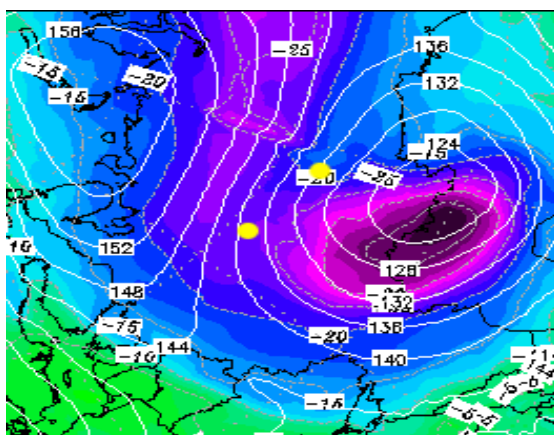


Рисунок 3.8 Фрагмент синоптической карты за 17 января 2006 года в 18 UTC, на высоте 850 гПа

Антициклон поддерживал стабильные условия, способствуя сохранению морозной погоды в результате распространения над пунктами холодных воздушных масс в высокоградиентной зоне взаимодействия циклона и антициклона.

18-19 января. Синоптическая ситуация этих дней представлена на рисунках 3.9а,б.

Холодный воздух сместился восточнее, и основные низкие температуры сохранялись в Екатеринбурге ($-30,9^{\circ}\text{C}$).

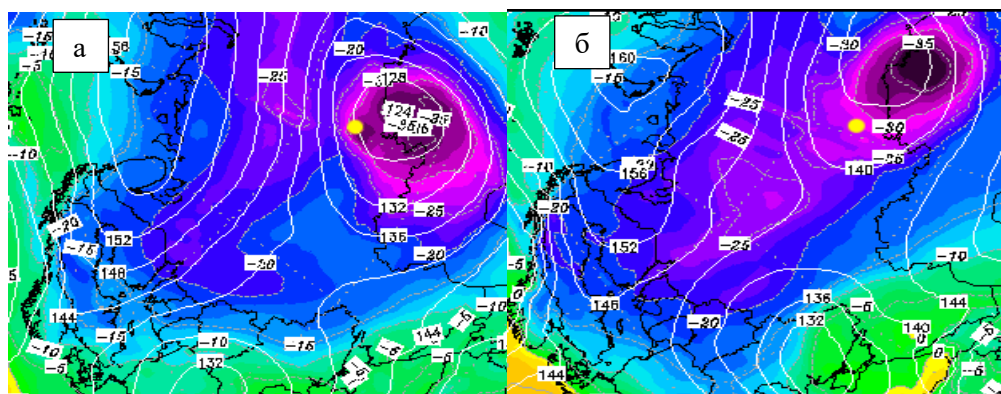


Рисунок 3.9а Фрагмент синоптической карты за 18 января 2006 года в 18 UTC, на высоте 850 гПа

Рисунок 3.9б Фрагмент синоптической карты за 19 января 2006 года в 18 UTC, на высоте 850 гПа

Холодный воздух по-прежнему удерживался над Уралом, но его влияние несколько ослабло.

20 января. Синоптическая ситуация этого дня представлена на рисунке 3.10.

Произошло новое усиление холодов, охватившее Екатеринбург ($-33,6^{\circ}\text{C}$), Пермь ($-33,0^{\circ}\text{C}$), Ветлугу ($-32,5^{\circ}\text{C}$) и Киров ($-31,4^{\circ}\text{C}$). Это было связано с малоградиентным полем седловины.

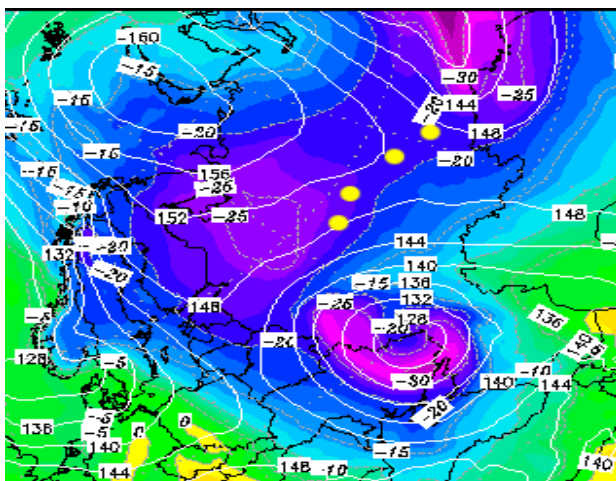


Рисунок 3.10 Фрагмент синоптической карты за 20 января 2006 года в 18 UTC, на высоте 850 гПа

Центр антициклона находился над Новой Землей, первый центр циклона располагался над Поволжьем, захватывая Черное море, второй центр в районе Красноярска.

21 января. Синоптическая ситуация этого дня представлена на рисунке 3.11.

Зафиксированы наиболее сильные морозы за весь период, особенно в Перми, где температура опустилась до $-34,3^{\circ}\text{C}$. Гребень антициклона, сформировавшийся в малоградиентном поле между двумя циклонами влиял на регион, продлевая экстремально холодную погоду.

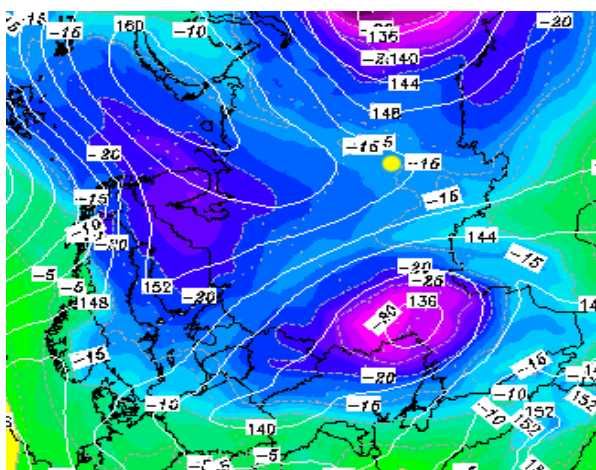


Рисунок 3.11 Фрагмент синоптической карты за 21 января 2006 года в 18 UTC, на высоте 850 гПа

Этот день стал кульминацией продолжительного периода аномальных холодов.

Таким образом, синоптическая ситуация в середине января 2006 года характеризовалась сочетанием нескольких ключевых факторов. Мощное арктическое вторжение 16 января принесло в регион экстремально холодный воздух. Антициклон, установившийся севернее, препятствовал его оттоку, создавая условия для застоя и продолжительных морозов. Дополнительным усиливающим фактором стало формирование к 20 января двух центров циклонов. В результате в Перми и Екатеринбурге были зафиксированы рекордно низкие температуры, достигшие $-34,3^{\circ}\text{C}$ и $-33,6^{\circ}\text{C}$ соответственно. Этот эпизод наглядно демонстрирует, как взаимодействие арктического вторжения, мощного антициклона и сложной барической системы может вызывать продолжительные периоды аномально холодной погоды.

2017 год

7 января 2017 года. Синоптическая ситуация этого дня представлена на рисунке 3.12.

Зафиксированы первые значительные похолодания: в Ветлуге $-32,9^{\circ}\text{C}$, в Кирове $-32,6^{\circ}\text{C}$. Это стало началом периода аномальных холодов, вызванного формированием антициклона над регионом. Пункты находились в малоградиентном поле, вблизи распространяющегося гребня со стороны Поволжья, что можно увидеть на рисунке 3.12

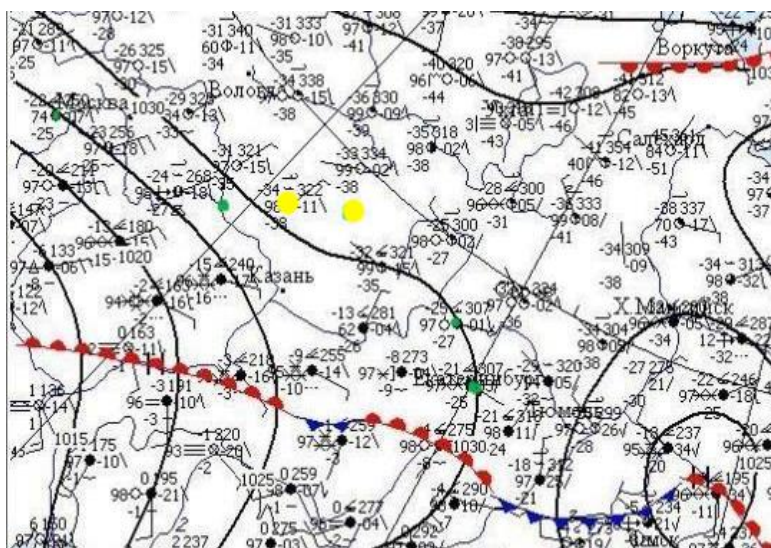


Рисунок 3.12 Фрагмент приземной синоптической карты за 7 января 2017 года в 12 UTC

8 января. Синоптическая ситуация этого дня представлена на рисунке 3.13.

Наблюдалось усиление антициклона и формирование его центра, расположенного над севером Поволжья, Кировской областью, Костромской, Ярославской и Вологодской областями, до западной части Пермского края. Это привело к максимальному охлаждению приземного слоя воздуха. В Кирове был зарегистрирован рекордный минимум периода -35.9°C , в Ветлуге -34.9°C . Ясная безветренная погода способствовала интенсивному радиационному выхолаживанию.

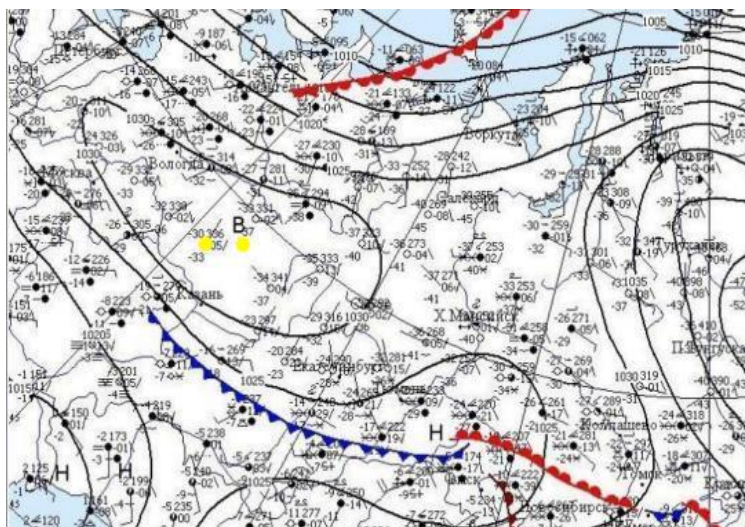


Рисунок 3.13 Фрагмент приземной синоптической карты за 8 января 2017 года в 12 UTC

9 января. Синоптическая ситуация этого дня представлена на рисунке 3.14.

Зона холода расширилась на Пермь, где температура опустилась до -32.2°C . В Ветлуге сохранялись экстремально низкие значения (-35.3°C), в Кирове – -33.1°C .

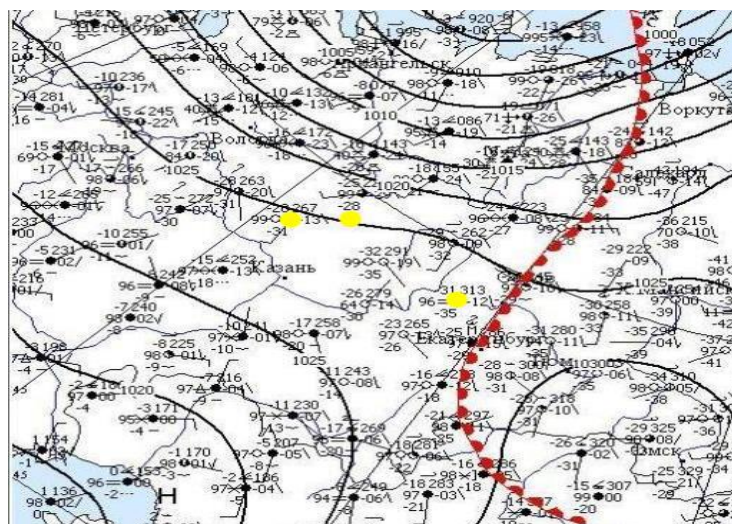


Рисунок 3.14 Фрагмент приземной синоптической карты за 9 января 2017 года в 12 UTC

Антициклональный характер погоды продолжал доминировать, хотя севернее пунктов исследования располагалась южная часть активного циклона, что можно заметить на рисунке 3.14.

Основными факторами аномального похолодания стали:

Длительное нахождение антициклона с 3 января

Процессы радиационного выхолаживания из-за ясной погоды и слабого ветра

Поступление арктических воздушных масс

Рассмотрим также интересный единичный случай аномально низких температур.

12 января 2003 года. Синоптическая ситуация этого дня представлена на рисунке 3.15.

Температура в Кирове достигала значения в $-30,1^{\circ}\text{C}$. Синоптическая ситуация данного случая достаточно сложная. Территория исследования находилась в зоне взаимодействия многоцентровой барической депрессии, расположенной в очаге экстремального холода над Северным-Ледовитым океаном над севером Баренцева моря.

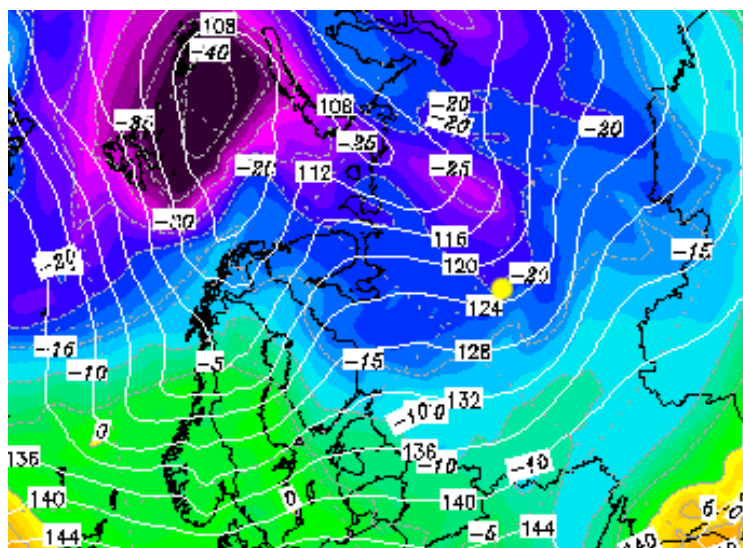


Рисунок 3.15 Фрагмент синоптической карты за 12 января 2003 года в 18 UTC, на высоте 850 гПа.

Температуры в очаге холода на высоте 1,5 километра была ниже -30°C . Киров находится в области, где взаимодействовала южная часть барической депрессии и гребень от Европейского антициклона. Центр антициклона располагается над островами Великобритании и западной Европой, а гребень в широтном направлении достигает Уральских гор. В течение суток гребень смещается в восточном направлении и над городом Кировом в конце суток наблюдается глубокая ложбина, согласно карте АТ-850 (рисунок 3.15), в которую поступает область аномального холода от очага над севером Баренцева моря.

Рассмотрим менее длительные случаи экстремально низких температур.

1. 1-2 января 1999 года аномально низкие температуры наблюдались по исследуемому маршруту в течении 2-х дней в районе Перми. Они обусловлены вторжением арктического циклона на территорию Сибири. Вся его тыловая часть охватывает Тюменскую область, Свердловскую область, Башкортостан, Челябинскую область и Курганскую область. Пермь находится вблизи тыловой части циклона, восточнее от Перми наблюдается меридионально вытянутый гребень Европейского антициклона, вершина которого достигает Северного Ледовитого океана. Аномально низкие значения были связаны с затоками арктического воздуха в район Перми (значения достигали -37.1°C

второго января). На остальных пунктах значения были в пределах нормы: Москва до -6.8°C , Нижний Новгород до -10.9°C , Ветлуга до -15.5°C , Киров до -29.3°C , Екатеринбург до -27.4°C . В Кирове и Екатеринбурге значения были близки к критическим, так как они расположены близко к центру очага аномального холода, но не достигли этой отметки.

2. 10-11 февраля 1994 года аномальные холода затронули Пермь, Киров и Ветлугу. В эти дни температура опустилась до $-32,5^{\circ}\text{C}$ в Перми, $-31,1^{\circ}\text{C}$ в Кирове и $-30,7^{\circ}\text{C}$ в Ветлуге. Синоптическая ситуация характеризовалась влиянием ложбины циклона, расположенного на востоке, и приближающегося антициклона со стороны Скандинавии. Такое сочетание способствовало застою холодных воздушных масс и их дополнительному выхолаживанию.

3. 24 февраля 1995 года экстремально низкие температуры зафиксированы в Перми ($-30,2^{\circ}\text{C}$) и Кирове ($-30,7^{\circ}\text{C}$). Эти значения были обусловлены нахождением станций в тыловой части циклона, расположенного на востоке. Тыловая часть циклона способствовала затягиванию холодного воздуха с севера, что привело к резкому понижению температур.

4. 27 декабря 1996 года аномальный холод наблюдался в Ветлуге, где температура составила $-31,2^{\circ}\text{C}$. Эта ситуация была связана с малоградиентным полем антициклона и отсутствием облачности, что создало идеальные условия для интенсивного выхолаживания приземного слоя воздуха. Ясное небо способствовало свободному излучению тепла в атмосферу, усиливая морозы.

5. 6-8 января 1997 года продолжительные холода охватили Пермь и Киров. 6 января сформировалось малоградиентное поле с зарождающимся циклоном на юге. К 7-8 января циклон уже полностью оформился на юго-востоке, а исследуемая территория оказалась в его тыловой части. К 8 января ситуация усложнилась образованием двухцентровой депрессии с очагами над Кировской и Тюменской областями, что усилило адвекцию холода. Температуры в эти дни достигали $-32,7^{\circ}\text{C}$ в Перми и $-30,8^{\circ}\text{C}$ в Кирове.

6. 15-16 декабря 1997 года аномальные холода затронули Екатеринбург, Киров и Ветлугу. Минимальные температуры составили $-30,4^{\circ}\text{C}$, -31°C и -

31,7°C соответственно. Эти значения были обусловлены положением региона на восточной и северо-восточной периферии антициклона, откуда дули северные и северо-западные ветры. Такая циркуляция привела к затягиванию арктического воздуха с побережья Обской губы, что резко понизило температуры.

7. 14 февраля 1998 года в Кирове зафиксирована температура -30,1°C. Этот эпизод был связан с влиянием тыловой части глубокого арктического циклона, расположенного на юго-востоке. Циклон способствовал выносу холодных масс с севера, что вызвало кратковременное, но интенсивное похолодание.

8. 6 декабря 2000 года аномально низкая температура наблюдалась по исследуемому маршруту в районе Перми (-30,2°C). С 4 декабря наблюдалась тыловая часть арктического циклона, которая достигала Новосибирских островов с центром над Тюменской областью. Восточнее пункты исследования сформировался очаг нормального холода, затем к 5 декабря циклон стал смещаться восточнее и в районе территории исследования сформировался барический гребень Сибирского антициклона. К шестому числу сформировался отдельный центр антициклона, который поддерживал этот очаг аномального холода. В дальнейшем наблюдалось высокоградиентное поле южной части арктического циклона, которое приносило тёплый воздух

9. 8 января 2003 года аномально низкая температура наблюдалась в районе Кирова (-30°C) и Ветлуги (-30,2°C). Она была обусловлена влиянием юго-западной части глубокого циклона, расположенного на северо-востоке.

10. 24 января 2006 года аномально низкая температура наблюдалась в Перми (-30,7°C). Это было обусловлено малоградиентным барическим полем. На его фоне сформировалось циклоническое образование с давлением в центре 1020гПа. На высоте 5,5 километров над центральной частью циклона прослеживались замкнутые изогипсы, что указывает на наличие высокого циклона. В тыловой части этого атмосферного образования из очага холода, расположенного на северо-востоке, перемещались холодные воздушные

массы. Это привело к формированию зоны холода в районе Пермского края, которая имела ограниченные контуры.

10. 7 января 2010 года в районе Перми наблюдалась аномально низкая температура - $-31,3^{\circ}\text{C}$. Это явление было обусловлено малоградиентным барическим полем, способствовавшим устойчивому выхолаживанию при отсутствии облачности. В зоне Пермского края сформировалась локальная область аномального холода с чёткими границами. В то же время на западной части рассматриваемого региона температуры также были ниже нормы, но не достигали аномальных значений. Ближе к центральной части России, в районе Москвы и Нижнего Новгорода, отмечался приток тёплого воздуха в тёплом секторе циклона, центр которого располагался над Финским заливом.

11. 21 февраля 2010 года аномально низкая температура наблюдалась в районе Перми ($-30,4^{\circ}\text{C}$). Это было обусловлено влиянием тыловой части глубокого арктического циклона на юго-востоке.

12. 9 января 2014 года в районах Перми (-34°C) и Екатеринбурга ($-32,8^{\circ}\text{C}$) наблюдалась аномально низкая температура. Это явление было вызвано затоком холодного воздуха по восточной периферии высотного гребня, связанного с антициклоном, центр которого располагался над Центральной Россией. Поступление холодных воздушных масс происходило из области Сибирского антициклона, который выступал в роли очага холода.

13. 20 декабря 2016 года аномально низкая температура наблюдалась в районе Перми ($-32,2^{\circ}\text{C}$), Кирова ($-30,1^{\circ}\text{C}$) и Екатеринбурга ($-31,3^{\circ}\text{C}$). Это было обусловлено прохождением антициклона с центром, расположенным на северо-западе в районе Нижнего Новгорода.

Анализ условий формирования экстремально низких температур на западном отрезке Транссибирской магистрали за период с 1993 по 2022 год позволил выявить следующие закономерности:

Пространственное распределение:

Наиболее часто экстремально низкие температуры (ниже -30°C) наблюдались в Перми (24 случая), Кирове (21 случай), Ветлуге (17 случаев) и

Екатеринбурге (20 случаев). В Москве и Нижнем Новгороде такие температуры не были зафиксированы, что связано с их более западным расположением и смягчающим влиянием атлантических воздушных масс.

Временное распределение:

Аномальные холода преимущественно отмечались в декабре, январе и феврале. В ноябре и марте такие явления отсутствовали.

Наибольшее количество случаев зафиксировано в январе (39 случаев), что связано с максимальным развитием зимних синоптических процессов.

Синоптические условия:

Основными причинами экстремальных холодов являлись:

Арктические вторжения, связанные с меридиональным переносом воздушных масс.

Формирование мощных антициклонов и малоградиентных барических полей, создающих условия для интенсивного радиационного выхолаживания.

На восточной части рассматриваемой территории в 1-2 пунктах наблюдений отмечались аномально низкие температуры, обусловленные синоптической ситуацией, способствующей перемещению воздушных масс с периферии Сибирского антициклона - то есть из области устойчивого очага холода, расположенного над Северной Сибирью.

Влияние тыловых частей циклонов, приводящих к затягиванию холодного воздуха.

Групповые случаи (например, декабрь 2002 года, январь 2006 года) были обусловлены устойчивыми синоптическими структурами, такими как мощные антициклоны или двухцентровые депрессии, которые продлевали период холодов.

Таким образом, экстремально низкие температуры на западном отрезке Транссибирской магистрали являются результатом сложного взаимодействия арктических воздушных масс, антициклональных условий и особенностей

рельефа. Понимание этих процессов позволяет улучшить прогнозирование и адаптацию транспортной системы к неблагоприятным погодным явлениям.

3.3 Анализ условий формирования экстремальных сумм осадков

Из данных архива были выбраны даты, в которые наблюдались экстремальные суммы осадков. В качестве границы для аномально высоких значений сумм осадков было принято значение 20см, на основании Распоряжения от 31 октября 2011 г. N 2339р Об утверждении перечня опасных для железнодорожного транспорта явлений погоды. За период исследования с 1993 г. по 2022 г. был выявлен 36 случай экстремальных сумм осадков. Данные осадков в таблице представлены в мм, а данные в распоряжении в см. Но высота снежного покрова имеет некоторую корреляцию с количеством выпавших осадков. В зависимости от структуры, 1 мм выпавшего снега в жидком эквиваленте может соответствовать 1–1,5 см снежного покрова [16]. Поэтому будем считать 1 мм выпавшего снега, 1 см снежного покрова.

Часть полученного архива представлена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 Фрагмент архива данных экстремальных сумм осадков

Станция	Год	Месяц	День	Осадки, мм
Нижний Новгород	1994	3	22	25,9
Пермь	1995	11	18	21,4
Ветлуга	1996	11	9	20,6
Нижний Новгород	1998	12	11	30
Нижний Новгород	2002	3	3	28,4
Ветлуга	2002	3	15	20,3
Нижний Новгород	2005	12	9	24,1
Екатеринбург	2005	3	6	27,7
Ветлуга	2009	11	8	20,8
Пермь	2009	11	9	22,8
Нижний Новгород	2010	12	26	39,2
Ветлуга	2010	11	25	25,1
Киров	2010	11	25	21,2
Екатеринбург	2010	1	5	22,5
Москва	2012	11	6	26,2
Москва	2012	11	29	20,9
Москва	2013	3	15	25,6
Ветлуга	2013	3	16	22,4
Ветлуга	2013	3	19	22,8
Киров	2013	3	16	26

Рассмотрим повторяемость случаев по месяцам. В таблице 3.4 представлено количество случаев по каждой станции в каждом месяце. Ниже на рисунке 3.16 представлена диаграмма, этих же данных, для удобства.

Таблица 3.4 Повторяемость экстремальных сумм осадков по месяцам

Станция	Месяц					Всего
	11	12	1	2	3	
Нижний Новгород	0	4	0	2	2	8
Москва	3	1	0	1	2	7
Ветлуга	6	1	0	1	3	11
Киров	3	0	0	0	1	4
Пермь	3	0	0	0	0	3
Екатеринбург	0	0	1	0	1	2

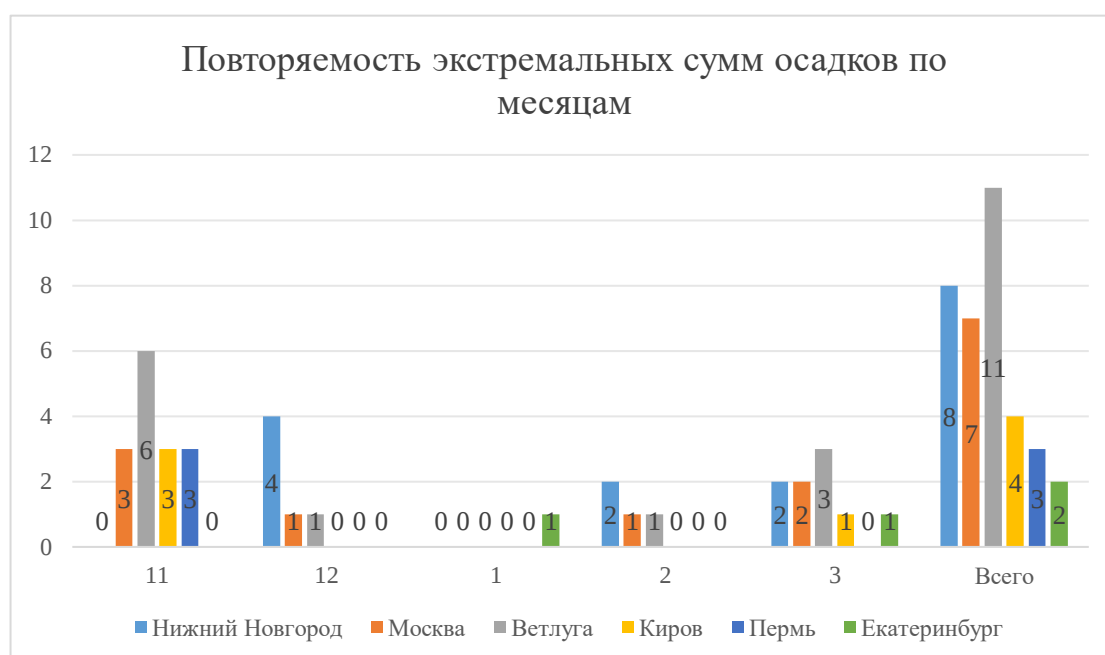


Рисунок 3.16 Диаграмма распределения экстремальных сумм осадков по месяцам и станциям.

Общая повторяемость экстремальных сумм осадков:

Наибольшее количество экстремальных осадков зафиксировано на станции Ветлуга (11 случаев), далее следуют Нижний Новгород (8 случаев) и Москва

(7 случаев). Наименьшие значения наблюдаются в Перми (3 случая) и Екатеринбурге (2 случая).

Распределение по месяцам:

Ноябрь (11): Наибольшая повторяемость экстремальных осадков отмечена в Ветлуге (6 случаев), что значительно выше, чем на других станциях.

Декабрь (12): Лидирует Нижний Новгород (4 случая), тогда как в Кирове и Перми такие случаи отсутствуют.

Январь (1): Экстремальные осадки редки, за исключением единичного случая в Екатеринбурге.

Февраль (2): Наибольшая повторяемость экстремальных осадков отмечена в Нижнем Новгороде (2 случая) и единичные случаи в Москве и Ветлуге.

Март (3): Наибольшая активность наблюдается в Ветлуге (3 случая) и Нижнем Новгороде (2 случая).

Случаи были разделены на стандартные и нестандартные.

Ниже приведена таблица 3.5, в которой рассматривается количество случаев аномальных осадков в зависимости от синоптической ситуации, которая им способствовала и процентное соотношение к общему количеству случаев.

Таблица 3.5 Распределение количества случаев по синоптическим ситуациям

Синоптическая ситуация	Количество случаев	Процентное соотношение
Южный Zn	19	54%
Западный Zn	11	31%
Ω блокирование	1	3%
Континентальный Zn	4	11%

Для визуализации данных ниже представлена диаграмма (рисунок 3.17) распределения случаев аномальных осадков в зависимости от синоптической ситуации.

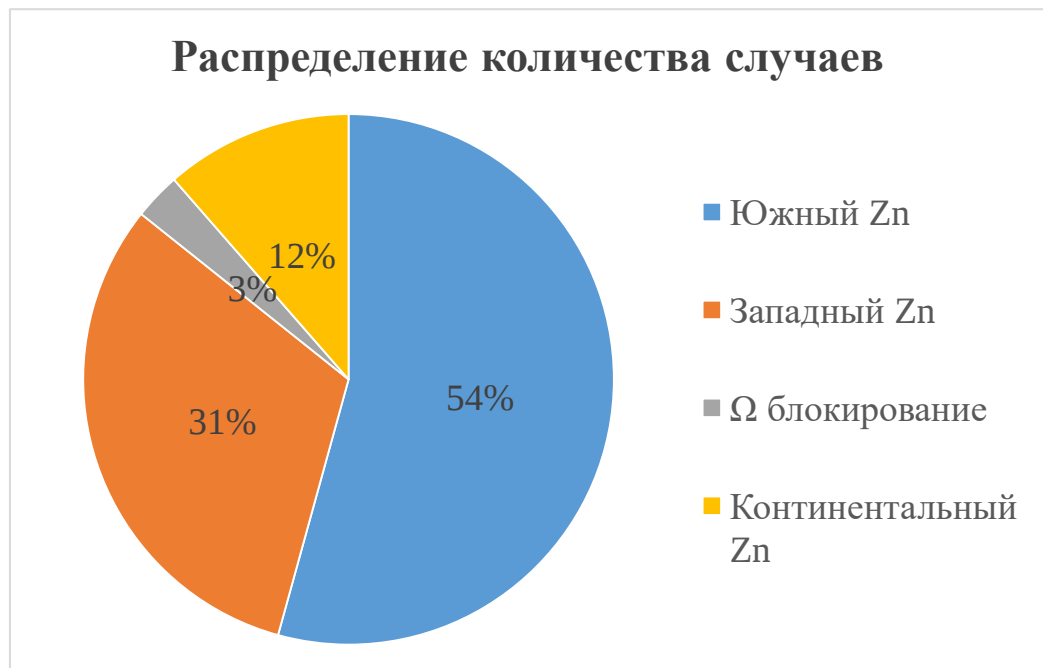


Рисунок 2.17 Диаграмма распределения количества случаев в зависимости от синоптической ситуации.

Можно заметить, что наибольшее количество случаев аномальных осадков было связано с прохождением южных (54%) и западных (32%) циклонов, поэтому они были обозначены как стандартные. Наименьшее было связано с циклонами, формирующимися в ложбине над континентом (континентальными) (11%) и омега блокированием (3%).

Первым делом рассмотрим случаи, в которых аномальные осадки были вызваны прохождением южного циклона. Были построены траектории всех южных циклонов с 1993 по 2022 года (см. Рисунок 3.18).



Рисунок 3.18 Траектории южных циклонов

Судя по карте, основные точки зарождения южных циклонов включают: средиземноморский регион - здесь циклоны формируются из-за контраста температур между теплым морем и холодными воздушными массами с севера и север Украины.

Таблица 3.6 Даты аномальных осадков, вызванных южными циклонами.

Станция	Год	Месяц	День	Осадки	Синоптическая ситуация
Нижний Новгород	1994	3	22	25,9	Южный Zп
Нижний Новгород	1998	12	11	30	Южный Zп
Екатеринбург	2005	3	6	27,7	Южный Zп
Нижний Новгород	2010	12	26	39,2	Южный Zп
Екатеринбург	2010	1	5	22,5	Южный Zп
Москва	2012	11	29	20,9	Южный Zп
Москва	2013	3	15	25,6	Южный Zп
Ветлуга	2013	3	16	22,4	Южный Zп
Киров	2013	3	16	26	Южный Zп
Нижний Новгород	2015	2	2	22,8	Южный Zп
Москва	2016	3	2	25,3	Южный Zп
Москва	2016	11	11	25,1	Южный Zп
Ветлуга	2016	11	11	20,8	Южный Zп
Москва	2018	2	4	24,2	Южный Zп
Нижний Новгород	2018	2	5	20,3	Южный Zп
Ветлуга	2018	2	4	21	Южный Zп
Нижний Новгород	2021	12	8	24,1	Южный Zп
Ветлуга	2021	12	8	21,4	Южный Zп
Москва	2022	12	12	22,6	Южный Zп

Выше представлена таблица 3.6 с датами в которые аномальные осадки были обусловлены прохождением южных циклонов.

Исходя из данных можно увидеть, что больше всего влиянию южных циклонов подвержены западные станции маршрута: Нижний Новгород, Москва и Ветлуга. В Перми не наблюдалось аномальных осадков, связанных с прохождением южного циклона, в Екатеринбурге - 2 случая, а в Кирове был зафиксирован лишь один такой случай.

Рассмотри типичный случай прохождения южного циклона.

15-16 марта 2013 года Синоптическая ситуация этого дня представлена на рисунках 3.19 А,Б,В,Г,Д,Е - 3.20.

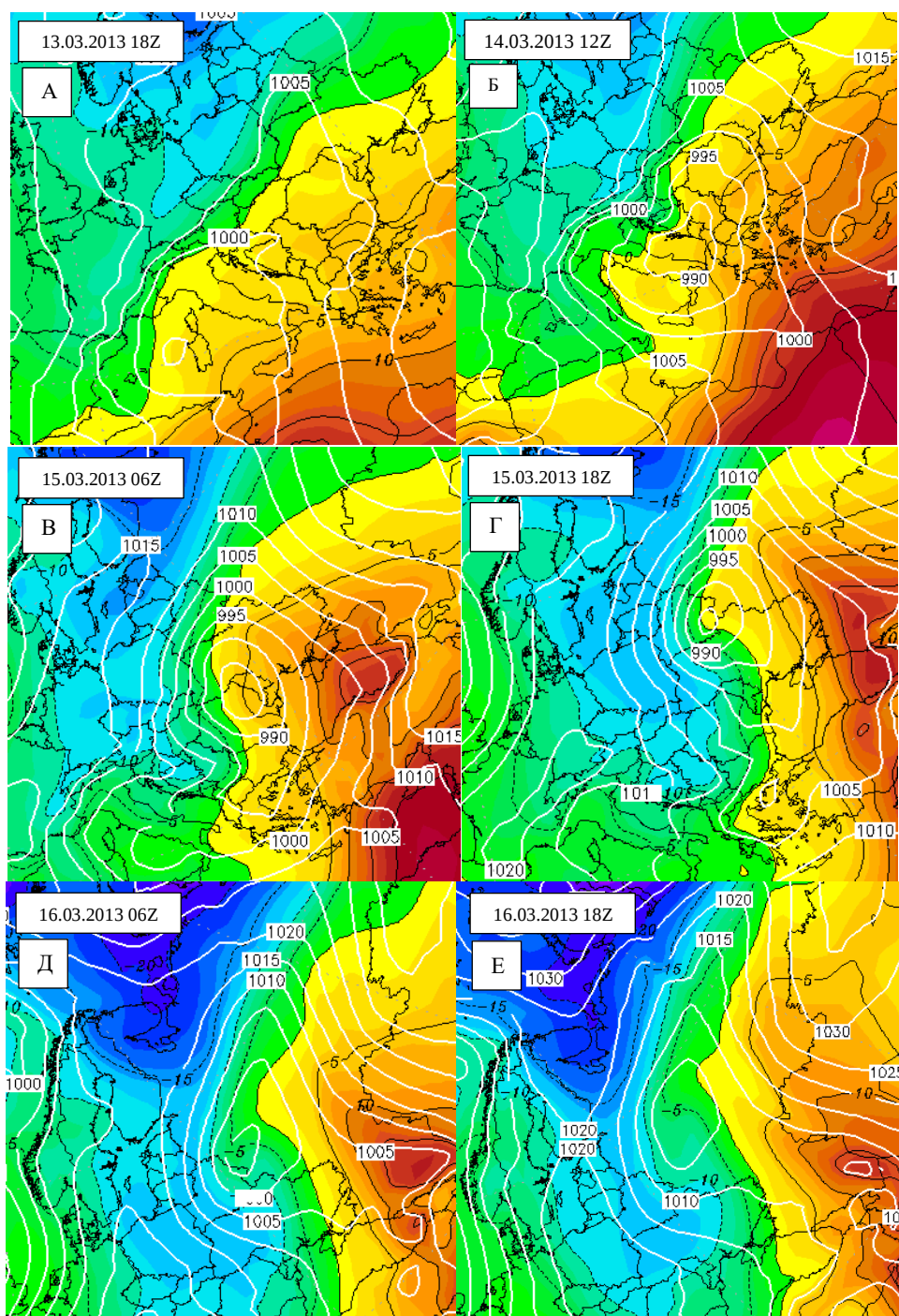


Рисунок 3.19 А - фрагмент синоптической карты за 13 марта 2013 года 18 UTC, на высоте 850 hPa, Б - фрагмент синоптической карты за 14 марта 2013 года 12 UTC, на высоте 850 hPa, В - фрагмент синоптической карты за 15 марта 2013 года 06 UTC, на высоте 850 hPa, Г - фрагмент синоптической карты за 15 марта 2013 года 18 UTC, на высоте 850 hPa, Д - фрагмент синоптической карты

за 16 марта 2013 года 06 UTC, на высоте 850 hPa, Е - фрагмент синоптической карты за 16 марта 2013 года 18 UTC, на высоте 850 hPa.

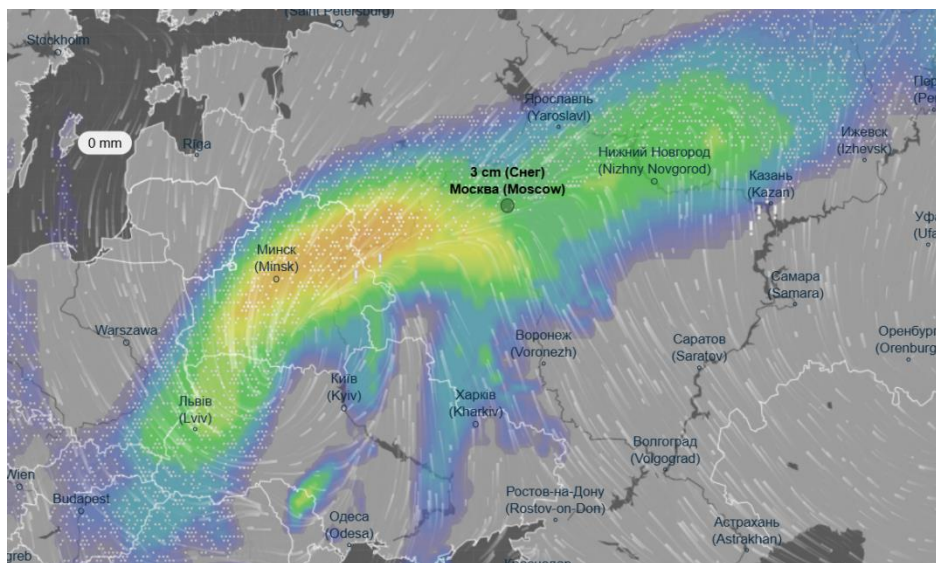


Рисунок 3.20 Поле осадков модели ECMWF за 15 марта 2013 года 18ч.

Циклон сформировался 13 марта 2013 года над северо-западной Италией и островом Корсика в Средиземном море, что можно заметить на рисунке 3.19А. Циклон двигался в северо-восточном направлении, что характерно для средиземноморских циклонов, на рисунке 3.19Б можно заметить, что центр циклона сместился на запад Греции. На картах (рисунок 3.19В,Г) четко прослеживается его перемещение через Балканы и Украину в центральные регионы России. К 15 марта сформировалась четко выраженная фронтальная система (рисунок 3.19Д,Е), которая принесла аномальные осадки в Москву, Ветлугу и Киров. К 16 числу циклон располагался над востоком Беларуси и Псковской областью (рисунок 3.19Д), в течение дня переместился к Московской области (рисунок 3.19Е). Также можно увидеть поле осадков, представленное на рисунке 3.20.

Рассмотрим случаи западных циклонов, которые приносили аномальные осадки. Процентное соотношение данных случаев составляет 31%. Рассмотрим один из них.

7 ноября 2019 года Синоптическая ситуация этого дня представлена на рисунках 3.21 А,Б,В,Г - 3.22.

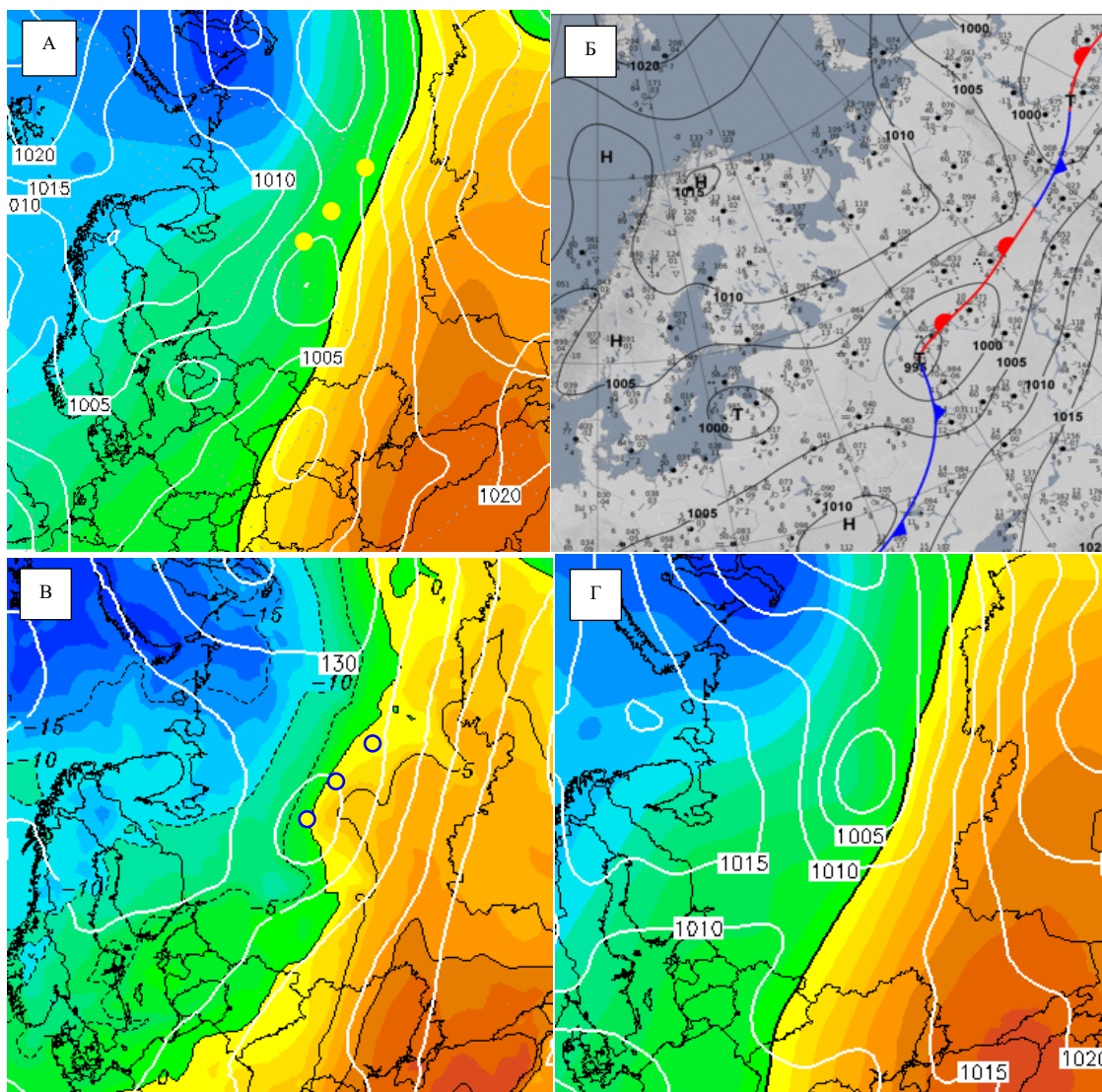


Рисунок 3.21 А - фрагмент синоптической карты за 7 ноября 2019 года 00 UTC, на высоте 500 hPa, Б - фрагмент DWD синоптической карты за 6 ноября 2019 года 00 UTC, В - фрагмент синоптической карты за 7 ноября 2019 года 06 UTC, на высоте 850 hPa, Г - фрагмент синоптической карты за 7 ноября 2019 года 12 UTC, на высоте 500 hPa.

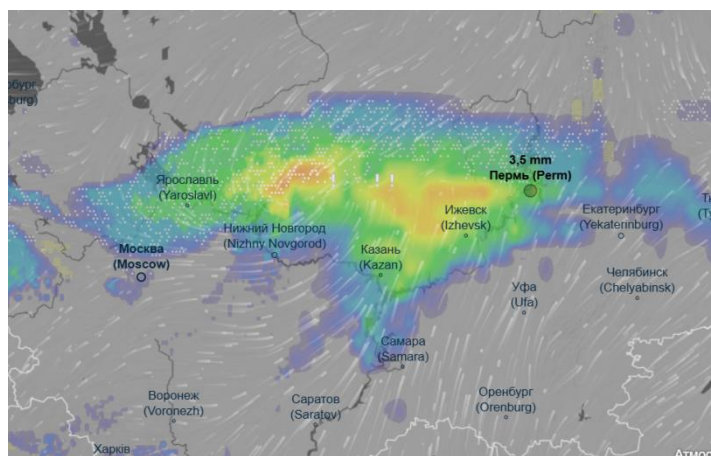


Рисунок 3.22 Поле осадков модели ECMWF за 7 ноября 2019 года 18ч

7 ноября 2019 года над территорией Европейской части России наблюдалось прохождение интенсивного циклона Балтийского происхождения, который принес аномальные осадки в ряд регионов. Циклон сформировался над акваторией Балтийского моря, что характерно для западного переноса воздушных масс в этот период года, и начал быстро перемещаться в восточном направлении. Наши станции находились сначала под влиянием теплого фронта, который вызвал такие осадки, а затем Ветлуга находилась в районе вершины волны, остальные станции оставались в фронтальной зоне. Так как к северу и к югу от пунктов исследования располагались контрастные холодная и теплая воздушные массы (рисунок 3.21В), это привело к аномальным осадкам.

Согласно данным модели ECMWF (Рисунок 3.22), циклон вызвал аномально высокие для ноября осадки на значительной территории. Максимальное количество осадков было зарегистрировано в Кирове (36.7 мм), тогда как в Ветлуге и Перми выпало по 25.5 мм.

Рассмотрим самые нестандартные случаи аномальных осадков.

Первым рассмотрим случай с прохождением южного циклона, который сформировался на территории континента из ложбины.

8 декабря 2021 года Синоптическая ситуация этого дня представлена на рисунках 3.23 А,Б,В,Г-3.24.

Аномальные осадки наблюдались в Нижнем Новгороде и Ветлуге. Над Средиземным морем сформировалась двухцентровая депрессия, центральная

часть которой располагалась над Италией и центральной частью моря (рисунок 3.23А), в ложбине, расположенной над Украиной формировался новый центр. Именно он начал смещаться в северо-восточном направлении (рисунок 3.23Б), через сутки проходя через район Москвы. Аномальные осадки наблюдались только в двух пунктах нашего маршрута, так как именно в этих местах проходила точка окклюзии (рисунок 3.23В).

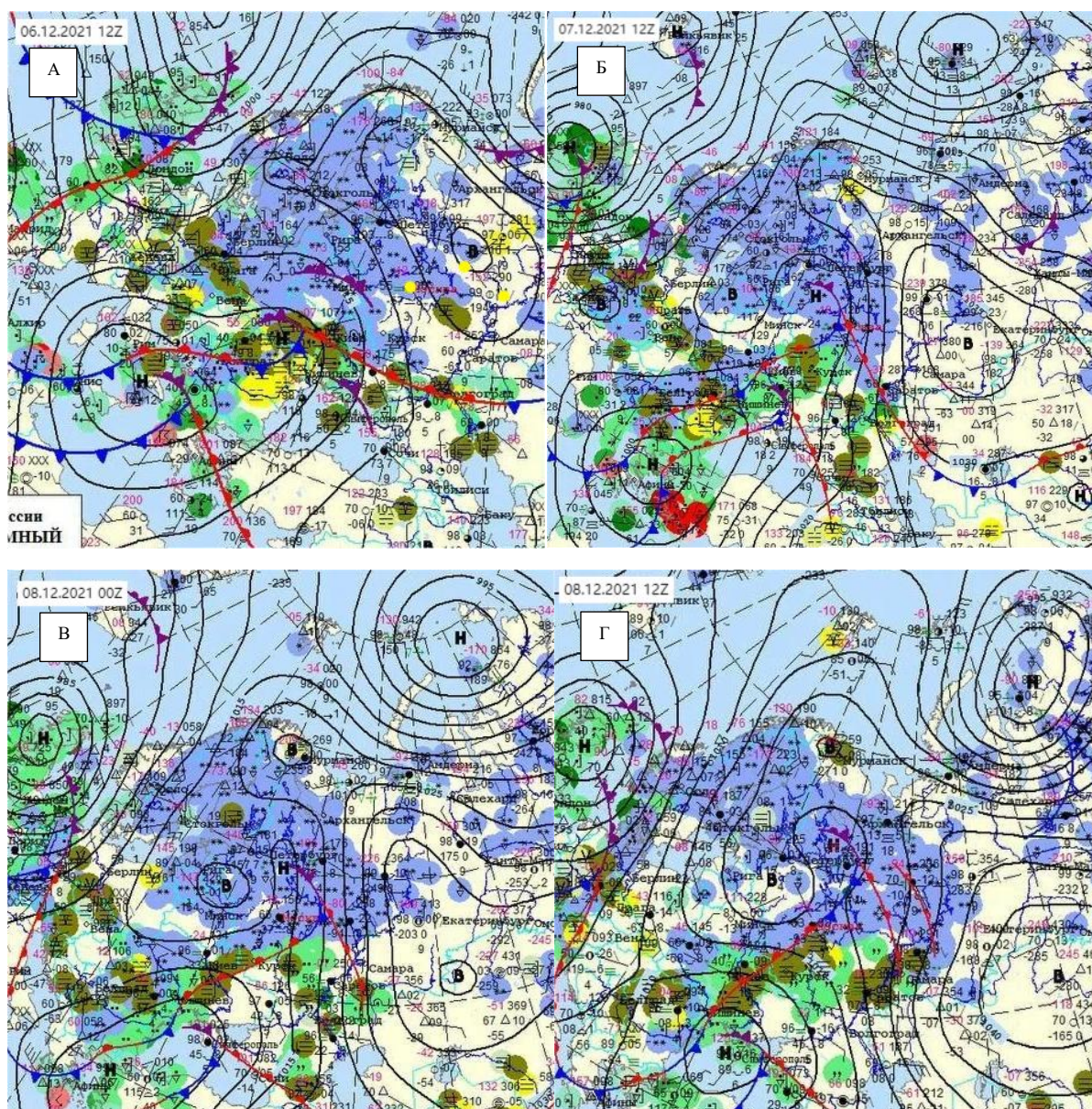


Рисунок 3.23 А - карта приземного анализа за 06.12.2021 12UTC, Б - карта приземного анализа за 07.12.2021 12UTC, В - карта приземного анализа за 08.12.2021 00UTC, Г - карта приземного анализа за 08.12.2021 12UTC.

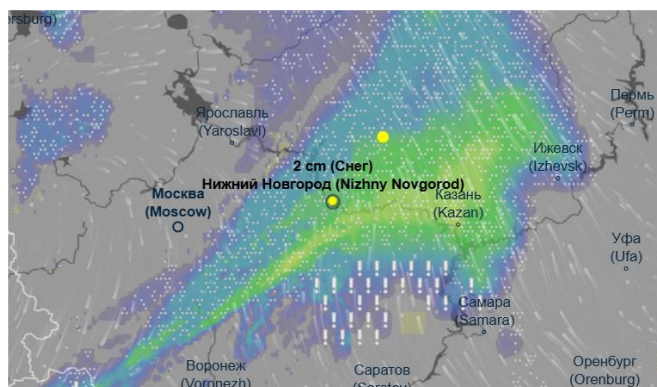


Рисунок 3.24 Поле осадков модели ECMWF за 8 декабря 2021 года 09ч.

На рисунке 3.24 можно увидеть поле осадков, находящееся на территории наших пунктов исследования.

Рассмотрим еще один нестандартный случай аномальных осадков.

9 ноября 1996 года Синоптическая ситуация этого дня представлена на рисунках 3.27 А,Б,В,Г - 3.28.

На карте АТ-500 наблюдается полярное вторжение. Приземный циклон с района Скандинавии вторгается на территорию северо-запада России и в районе под Новой Землей формируется малоградиентная ложбина (рисунки 3.27 В,Г).

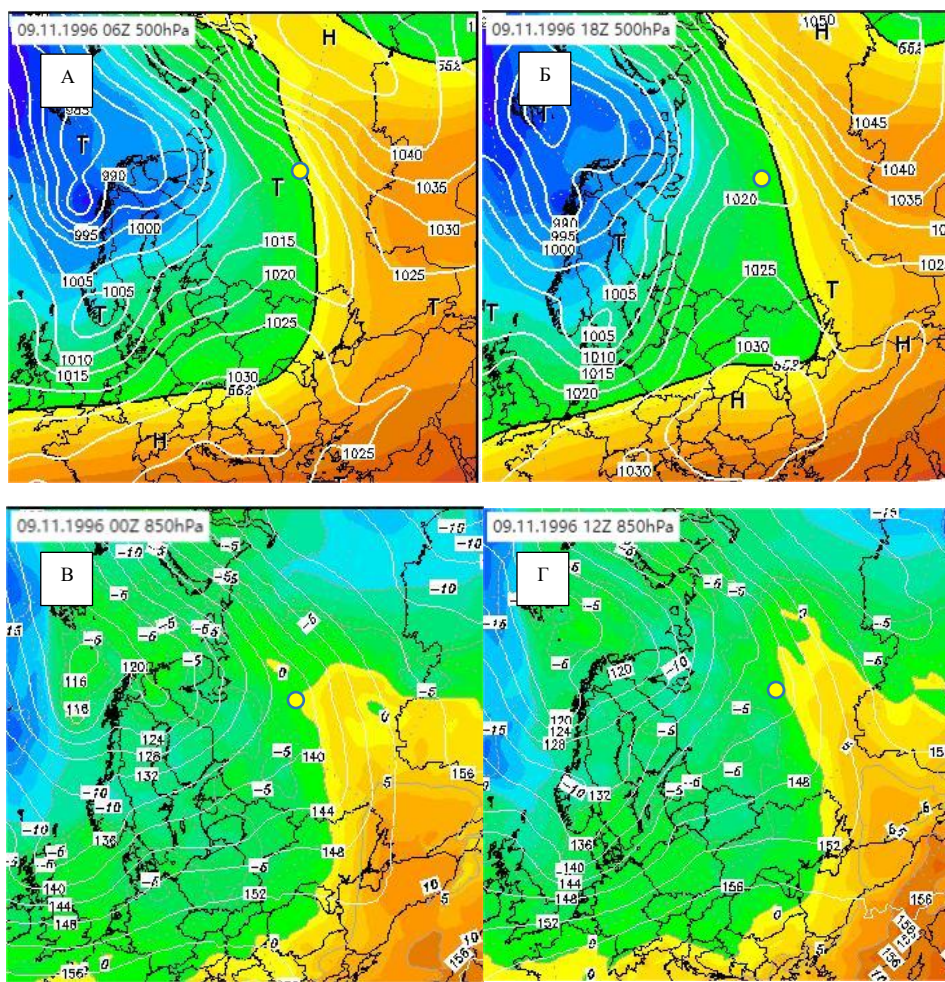


Рисунок 3.27 А - фрагмент синоптической карты за 9 ноября 1996 года 06 UTC, на высоте 500 hPa, Б - фрагмент синоптической карты за 9 ноября 1996 года 18 UTC, на высоте 500 hPa, В - фрагмент синоптической карты за 9 ноября 1996 года 00 UTC, на высоте 850 hPa, Г - фрагмент синоптической карты за 9 ноября 1996 года 12 UTC, на высоте 850 hPa.

Высотная фронтальная зона на карте АТ-500 (рисунки 3.27 А,Б), которая ограничивается 552 изогипсой становится буквой Ω восточнее вторжения, что способствует стационарированию антициклона под Ω . Вторжение продолжается, создаются контрасты температур на западной периферии антициклона, что привело к аномальным осадкам в Ветлуге (20,6 мм). Фронтальная система циклона пролегает в ложбине, направленная в сторону Новой земли.

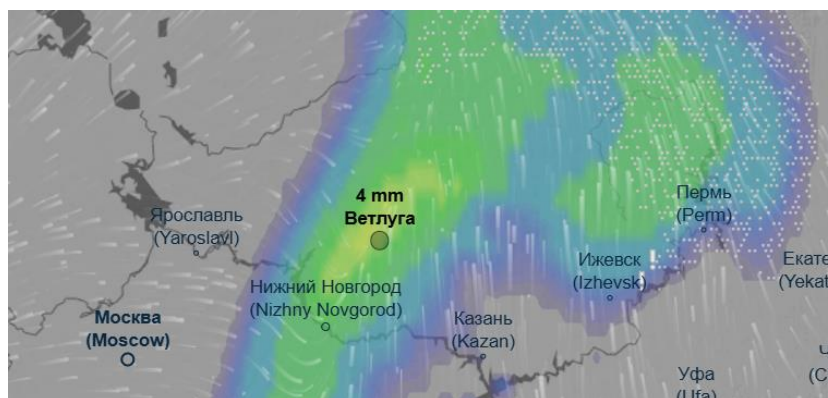


Рисунок 3.28 Поле осадков модели ECMWF за 9 ноября 1996 года 09ч.

Анализ представленных случаев демонстрирует разнообразие механизмов формирования и перемещения циклонов, приводящих к аномальным осадкам на территории Европейской части России. Южные циклоны, такие как средиземноморский циклон в марте 2013 года, перемещаются в северо-восточном направлении, принося интенсивные осадки в центральные регионы. Западные циклоны (например, ноябрь 2019 года) формируются над Балтийским морем и быстро движутся на восток, вызывая аномальные осадки. Нестандартные случаи, такие как двухцентровая депрессия в декабре 2021 года или полярное вторжение и омега блокирование в ноябре 1996 года, подчеркивают роль сложных атмосферных процессов (окклюзии, стационарирования антициклонов) в формировании экстремальных погодных условий.

Заключение

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы поставленная цель была выполнена и задачи решены.

Были проанализированы неблагоприятные погодные условия для западного отрезка Транссибирской магистрали: случаи выпадения аномальных осадков и аномально низкие температуры на выбранных станциях в холодное полугодие.

Всего было выявлено за период исследования с 1993 по 2022 гг. 36 случаев аномальных осадков и 71 случай аномально низких температур.

Аномальные осадки чаще наблюдались в Ветлуге, Нижнем Новгороде и Москве. Больше всего случаев с высоким количеством осадков было зафиксировано в ноябре, в январе наблюдался только один случай в Екатеринбурге. В результате анализа синоптических процессов, формирующих аномальные осадки можно сделать вывод о том, что в 54% им сопутствовало прохождение южных циклонов, в 32% - западных.

Экстремально низкие температуры (ниже -30°C) чаще возникали в Перми, Кирове, Ветлуге и Екатеринбурге из-за вторжений арктических воздушных масс. В 79% случаев аномально низкие температуры воздуха были связаны с вторжениями арктических циклонов и вторжением арктических воздушных масс по восточной периферии антициклонов. Отдельно наблюдались случаи ложбин от арктических циклонов с центром над севером Баренцева моря, при этом наблюдались единичные эпизоды аномальных холодов. Низкие температуры на западном участке Транссибирской магистрали отмечались в центральных частях континентальных антициклонов.

Максимальная повторяемость аномально низких температур воздуха за весь исследуемый период приходилась на январь.

Функционирование Транссибирской магистрали несомненно зависит от управления рисками, связанными с возникновением опасных гидрометеорологических явлений. Характерные синоптические ситуации,

полученные в ходе работы можно использовать в оперативной практике синоптиков сектора гидрометеорологии РЖД.

Список используемых источников

- [1] Белов А.И., Соколова Д.К. Климат и риски эксплуатации железных дорог Сибири // Труды Гидрометцентра России. 2021. № 587.
- [2] Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология [Текст]. - 7-е изд. - М.: Изд-во МГУ, 2006.
- [3] Пехливан Н.И. Синоптическая метеорология. - Л.: Гидрометеиздат, 1981.
- [4] Справочник по краткосрочным прогнозам погоды / Под ред. А.С. Зверева.- Л.: Гидрометеиздат, 1986.
- [5] Пальмен Э., Ньютон Ч. Циркуляционные системы атмосферы [Текст]. - Л.: Гидрометеиздат, 1973.
- [6] Атлас железных дорог России. - М.: Роскартография, 2020. - 256 с.
- [7] Мильков Ф.Н. Физическая география СССР. - М.: Высшая школа, 2018. - 328 с.
- [8] Матвеев А.К. География Урала. - Екатеринбург: УрФУ, 2019.
- [9] Баландин Р.К. Природа Сибири. - Новосибирск: Наука, 2017. - 215 с.
- [10] Петров Е.С. География Дальнего Востока. - Владивосток: ДВГУ, 2021. - 178 с.
- [11] Клименко В.В. Климаты России. - М.: МГУ, 2018. - 312 с.
- [12] Руководство по безопасности железнодорожного транспорта. - М.: Трансжелдориздат, 2022. - 210 с.
- [13] wetterzentrale URL: <https://www.wetterzentrale.de/> (дата обращения: 15.01.2025).
- [14] ventusky URL: <https://www.ventusky.com/> (дата обращения: 16.01.2025).
- [15] ВНИИГМИ-МЦД URL: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index0.shtml> (дата обращения: 10.10.2024).
- [16] gismeteo URL: <https://www.gismeteo.ru/news/weather/chto-takoe-mm-osadkov-v-prognoze-20-mm-eto-mnogo-ili-malo/?ysclid=mbz3726ovn576673064> (дата обращения: 15.06.2025).