



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы  
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(бакалаврская работа)

На тему: «Метеорологическое и климатическое обеспечение автодорожной  
отрасли региона»

Исполнитель \_\_\_\_\_ Ким Татьяна Владленовна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель \_\_\_\_\_ Кандидат географических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_ Абанников Виктор Николаевич  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

И.О. заведующего кафедрой

  
(подпись)

\_\_\_\_\_ Доктор физико-математических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_ Дробжева Яна Викторовна  
(фамилия, имя, отчество)

« 16 » июня 2025 г.

Санкт-Петербург

2025

## Содержание

Перечень условных обозначений и сокращений.....	3
Введение .....	4
1. Автомагистраль М-12 «Восток», физико-географические особенности регионов и погодно-климатические условия, влияющие на автомагистраль .....	6
1.1 Сведения о трассе М-12 «Восток» (Москва — Казань).....	6
1.2 Географическое положение и климатические особенности регионов .....	9
1.3 Метеорологические факторы и их влияние на условия движения автотранспорта .....	14
2. Анализ режима метеорологических характеристик вдоль трассы.....	25
2.1 Температурный режим воздуха .....	25
2.2 Режим осадков .....	31
2.3 Особенности ветрового режима .....	36
2.4 Режим опасных явлений погоды .....	40
3. Учет и оценка специализированных погодно-климатических характеристик, влияющие на автомагистраль.....	43
3.1 Метелевый снегоперенос и снегопринос.....	43
3.2 Объем стока .....	52
3.3 Горизонтальная дальность видимости.....	53
Заключение.....	57
Список литературы .....	59

## Перечень условных обозначений и сокращений

ДТП - Дорожно-транспортное происшествие

ТС – Теплый сезон

ХС – Холодный сезон

КНЯ – Комплекс неблагоприятных метеорологических явлений

ЕТР – Европейская территория России

КНЯ – Комплекс неблагоприятных явлений

## Введение

Современная транспортная инфраструктура немыслима без автомобильных дорог, которые связывают города и регионы, а также способствуют развитию экономики.

Погодные условия и климат напрямую влияют на аварийность и пропускную способность дорожной сети. Неблагоприятные метеорологические явления, такие как осадки, температура, сильный ветер, гололедица, туманы, существенно ухудшают видимость, снижают управляемость транспортных средств и негативно влияют на дорожное покрытие, что неизбежно приводит к росту аварийности, снижению скорости движения и ухудшению комфорта для участников дорожного движения. В условиях современного дорожного движения, когда интенсивность трафика постоянно растет, к дорогам предъявляются повышенные требования. Они должны быть безопасными, удобными и иметь достаточную пропускную способность в любое время года. Зимний период представляет особую сложность для дорожных служб. Помимо значительных затрат на борьбу с гололедом и снегом, главной задачей является обеспечение надёжной работы дорог, безопасности, бесперебойного и комфортного движения транспорта.

В последние десятилетия в России наблюдается активное строительство и модернизация сети автомобильных дорог, включая масштабные инфраструктурные проекты, такие как скоростная автомагистраль М-12 «Восток» (Москва — Казань) [1]. Эта трасса протяженностью более 800 километров представляет собой сложный инженерный объект, эксплуатация которого требует комплексного подхода к обеспечению безопасности дорожного движения и оптимизации логистики.

Учитывая протяжённость трассы М-12, её прохождение через различные климатические зоны и интенсивное движение, обеспечение метеорологической и климатической информацией имеет решающее значение для принятия

обоснованных решений на всех этапах жизненного цикла дороги — от проектирования и строительства до эксплуатации и обслуживания. Это включает в себя прогнозирование опасных метеорологических явлений, мониторинг погодных условий в режиме реального времени, разработку мер по снижению рисков, связанных с неблагоприятными погодными условиями, и совершенствование систем оповещения участников дорожного движения.

Целью выпускной квалификационной работы является анализ данных о метеорологических и климатических условиях, влияющих на эксплуатацию и интенсивность движения автомобильного транспорта по Федеральной трассе РФ М-12.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Анализ технических характеристик автомобильной трассы и физико-географических особенностей территорий, по которой проходит трасса;
- Сбор и анализ метеорологических данных.
- Оценка влияния погодных условий на безопасность дорожного движения.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех основных разделов, заключения и списка литературы.

1. Автомагистраль М-12 «Восток», физико-географические особенности регионов и погодно-климатические условия, влияющие на автомагистраль

### 1.1 Сведения о трассе М-12 «Восток» (Москва — Казань)

Скоростная автомобильная дорога М-12 «Восток» представляет собой ключевое звено международного транспортного коридора «Европа — Западный Китай». Протяжённостью более 800 километров, она соединяет Москву и Казань, обеспечивая беспрепятственный проезд с конца 2023 года.

Строительство автомагистрали М-12 «Восток» началось летом 2020 года и охватило пять регионов: Московскую, Владимирскую, Нижегородскую области, а также республики Чувашию и Татарстан. В процессе строительства было возведено более 300 искусственных сооружений, в том числе три выдающихся моста: вантовый через Оку, монолитный через Суру и 3-километровый мост через Волгу. Эта трасса призвана значительно разгрузить одно из самых загруженных направлений страны — федеральную дорогу М-7 «Волга». На М-12 «Восток» предусмотрено 19 транспортных развязок, обеспечивающих связь с федеральными и основными региональными автомобильными дорогами (см. рисунок 1.1).

Для комфорта автомобилистов на трассе каждые 30-65 километров строятся многофункциональные зоны сервиса (МФЗ). Главенствующим на МФЗ является принцип – «Сначала отдохни, потом заправься». Это значит, что, въехав на территорию, водители будут двигаться по заранее продуманному маршруту: стоянка и зоны для отдыха с кафе, магазином и площадками, а лишь затем – выезд к заправокным станциям и на автодорогу.

Проект строительства скоростной дороги М-12 «Восток» реализуется по поручению Президента РФ Владимира Путина № 204 от 07.05.2018 года «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [1].

Технические характеристики:

- категория – ІБ;
- число полос движения – 4 (6) штук;
- ширина разделительной полосы – 3 метра;
- тип дорожной одежды – капитальный;
- мостовые сооружения – 315 штук;
- транспортные развязки в разных уровнях – 19 штук;
- разрешенная скорость до 110 км/час;
- протяженность – 810,32 км.



Рисунок 1.1 – Автомагистраль М-12 «Восток»

### Хронология ввода участков.

8 сентября 2022 года было открыто движение по участку от ЦКАД А-113 (Ногинск) до дороги А-108 (Орехово-Зуево) протяженностью 23 километра. Данный участок входит в нулевой этап строительства трассы: от Северо-Восточной хорды до транспортной развязки с А-108 «Московское большое кольцо».

14 октября 2022 года было открыто движение по первому пусковому комплексу 2 этапа М-12 «Восток» от дороги М-7 «Волга» до пересечения с

федеральной автодорогой Р-132 «Золотое кольцо». Протяженность участка составляет 26,1 км, он стал частью платного дублера Южного обхода города Владимир.

13 декабря 2022 года во Владимирской области было открыто движение по участку автодороги протяженностью 58,2 км от пересечения трасс М-12 и М-7 (114-й км) до деревни Столбищи Собинского района. По нему можно проехать в обход городов Петушки, Костерево, Лакинск, сел Пекша, Ворша и деревни Колокши.

8 сентября 2023 года было введено в эксплуатацию сразу несколько участков автомагистрали М-12 «Восток» общей протяженностью более 300 километров. В результате автодорога соединила 4 региона: Москву, Московскую, Владимирскую и Нижегородскую области. Автомобилисты получили возможность без светофоров и в объезд всех населенных пунктов доехать от Москвы до Арзамаса.

15 ноября 2023 года был открыт участок дороги длиной почти 154 км – от чувашского города Шумерля до пересечения с автодорогой Р-241 Казань – Буинск – Ульяновск. Особенность участка – большое количество искусственных сооружений, здесь их более 40.

21 декабря 2023 года запущено движение по М-12 «Восток» от Москвы до Казани. До столицы Татарстана можно доехать всего за 6,5 часов. Дорога проходит по территории пяти регионов: Московской, Владимирской, Нижегородской областей, Чувашской Республики и Республики Татарстан и станет основой скоростного транспортного маршрута «Россия» длиной 12 000 км от Санкт-Петербурга до Владивостока [1].

## 1.2 Географическое положение и климатические особенности регионов

Автотрасса проходит через несколько регионов, которые характеризуются большим разнообразием физико-географических и погодно-климатических условий. Анализ территорий начнем с Московской области.

Московская область находится в Центральном федеральном округе Российской Федерации, в центральной части Восточно-Европейской (Русской) равнины, в бассейне рек Волги, Оки, Клязьмы, Москвы. Область протянулась с севера на юг на 310 км, с запада на восток – на 340 км.

Область имеет ярко выраженный равнинный рельеф. Западная часть – холмистые возвышенности, а восточная – обширные низменности. С севера и запада находится Смоленско-Московская возвышенность, а на востоке мы видим Мещёрскую низменность. С юго-запада на северо-восток область пересекает граница Московского оледенения. Почти весь запад и север Московской области занимает Московская возвышенность, где мы видим речные долины. На юге Московской области простирается холмистая Москворецко-Окская равнина, которая является наиболее высокой – 255 метров. Практически всю восточную половину этой области занимает обширная Мещёрская низменность, которая является в восточной части значительно заболоченной. Почти все крупные озёра Мещёрской низменности имеют ледниковое происхождение. Там находится и самая низкая в регионе естественная высота – 95 метров, что является уровнем воды в реке Ока.

Климатические особенности Московской области определяются её расположением в умеренном климатическом поясе, в зоне переходного климата от умеренно-континентального к континентальному. Регион характеризуется следующими особенностями [5]:

- Четыре ярко выраженных сезона: смена времён года хорошо выражена, с чёткими переходами от зимы к весне, от весны к лету, от лета к осени и от осени к зиме.

- Умеренно холодная зима: средняя температура января (самого холодного месяца) составляет около  $-10^{\circ}\text{C}$ , однако возможны значительные колебания температуры, вплоть до  $-30^{\circ}\text{C}$  и ниже в периоды аномальных похолоданий. Зима характеризуется снежным покровом, который держится в среднем 4-5 месяцев.
- Теплое лето: средняя температура июля (самого теплого месяца) составляет около  $+18^{\circ}\text{C}$ , но в жаркие периоды температура может подниматься выше  $+30^{\circ}\text{C}$ . Лето характеризуется достаточным количеством осадков, но возможны периоды засухи.
- Относительно короткие весна и осень: эти переходные периоды характеризуются неустойчивой погодой, частыми дождями и колебаниями температуры. Весной наблюдается быстрое таяние снега и повышение уровня воды в реках.
- Умеренное количество осадков: годовое количество осадков в среднем составляет 500-600 мм, распределение осадков по сезонам неравномерное, большая часть выпадает в теплое время года.
- Высокая влажность воздуха: обусловлена влиянием Атлантического океана и большим количеством рек и озёр. Влажность воздуха особенно высока в весенне-осенний период, что способствует образованию туманов.
- Частые туманы: Туманы наиболее вероятны в осенне-зимний период, особенно в утренние часы и вблизи водоёмов.
- Неустойчивая погода: для Московской области характерна неустойчивая погода с быстрой сменой воздушных масс и частыми колебаниями температуры и атмосферного давления. Возможны резкие изменения погоды в течение суток.
- Ветровой режим: преобладают ветры западного и юго-западного направлений, но возможны ветры различных направлений в зависимости от атмосферных процессов. Скорость ветра обычно умеренная, но возможны усиления ветра до штормовых значений.

## **Владимирская область.**

Владимирская область находится в Центральном федеральном округе Российской Федерации, в центральной части Восточно-Европейской (Русской) равнины. Главные реки — Клязьма (приток Оки) и Ока (приток Волги). Область расположена на водоразделе рек Волги и Дона.

Рельеф преимущественно равнинный, с небольшими возвышенностями (Владимирское ополье).

Значительная часть территории покрыта лесами (смешанными, хвойными и широколиственными).

Климатические особенности региона:

- Умеренно-континентальный климат: характеризуется умеренной сменой сезонов, с теплым летом и умеренно холодной зимой.
- Сезонность: Четко выраженные четыре сезона:
  - a) Зима: продолжительная (с ноября по март), умеренно холодная, с устойчивым снежным покровом. Средняя температура января около  $-11^{\circ}\text{C}$ . Возможны сильные морозы до  $-30^{\circ}\text{C}$ .
  - b) Весна: короткая, но быстрая, с резким повышением температуры и таянием снега. Характерны возвратные заморозки.
  - c) Лето: теплое, с максимальными температурами в июле (около  $+19^{\circ}\text{C}$ ). Возможны кратковременные периоды жары.
  - d) Осень: прохладная, с постепенным снижением температуры и увеличением количества осадков.
- Осадки: умеренное количество осадков, равномерно распределенных в течение года (около 550-650 мм). Максимум приходится на лето.
- Ветры: преобладают западные и юго-западные ветры.

## **Нижегородская область.**

Нижегородская область расположена в центре европейской части России, место слияния Оки и Волги.

Разнообразный рельеф: на правом берегу — Приволжская возвышенность (отроги), на левом берегу — Нижегородское Поволжье (низменность).

Климатические особенности:

- Умеренно-континентальный климат: характеризуется умеренно теплой зимой и теплым летом.

- Сезонность: Четко выраженные четыре сезона:

- a) Зима: умеренно холодная, продолжительная (с ноября по март), с устойчивым снежным покровом. Средняя температура января около  $-12^{\circ}\text{C}$  на севере и  $-11^{\circ}\text{C}$  на юге. Возможны морозы до  $-35^{\circ}\text{C}$ .

- b) Весна: короткая, с резкими перепадами температур, возвратными заморозками.

- c) Лето: теплое, с максимальными температурами в июле (около  $+19\dots+20^{\circ}\text{C}$ ). Возможны периоды жары до  $+30^{\circ}\text{C}$  и выше.

- d) Осень: прохладная, дождливая, с постепенным снижением температуры.

- Осадки: годовое количество осадков варьируется от 450 до 650 мм, с максимумом в летние месяцы. На возвышенностях выпадает больше осадков.

- Ветры: преобладают юго-западные и западные ветры.

### **Чувашская Республика.**

Чувашская Республика (Чувашия) расположена в центре европейской части России, на востоке Восточно-Европейской равнины, в среднем Поволжье (расположено в среднем течении реки Волги, на её правом берегу.)

Основная часть территории расположена на Приволжской возвышенности, что определяет холмистый рельеф.

Значительная часть территории покрыта лесами (смешанными, широколиственными).

Климатические особенности:

- Умеренно-континентальный климат: характеризуется умеренно теплым летом и умеренно холодной зимой.
- Сезонность: Четко выражены все четыре сезона:
  - a) Зима: продолжительная (с ноября по март), умеренно холодная, со стабильным снежным покровом. Средняя температура января около  $-12^{\circ}\text{C}$ . Возможны морозы до  $-30\dots-35^{\circ}\text{C}$ .
  - b) Весна: короткая, с быстрым повышением температуры, возвратными заморозками.
  - c) Лето: теплое, с максимальными температурами в июле (около  $+19\dots+20^{\circ}\text{C}$ ). Возможны периоды жары до  $+30^{\circ}\text{C}$  и выше.
  - d) Осень: прохладная, дождливая, с постепенным снижением температуры.
- Осадки: годовое количество осадков составляет 450-550 мм, с максимумом в летние месяцы.
- Ветры: преобладают юго-западные и западные ветры.

### **Республика Татарстан**

Республика Татарстан расположена в центре европейской части России, в месте слияния рек Волги и Камы.

Рельеф преимущественно равнинный, с небольшими возвышенностями (Бугульминско-Белебеевская возвышенность на юго-востоке).

Природная зона — лесостепь с небольшими участками смешанных лесов.

Климатические особенности:

- Умеренно-континентальный климат: характеризуется умеренно теплым летом и умеренно холодной зимой.
- Сезонность: Четко выраженные четыре сезона:
  - a) Зима: продолжительная (с ноября по март), умеренно холодная, со стабильным снежным покровом. Средняя температура января около  $-13^{\circ}\text{C}$ . Возможны морозы до  $-35\dots-40^{\circ}\text{C}$ .

b) Весна: короткая, с резкими перепадами температур, возвратными заморозками.

c) Лето: теплое, с максимальными температурами в июле (около +19...+20°C). Возможны периоды жары до +35°C.

d) Осень: прохладная, дождливая, с постепенным снижением температуры.

- Осадки: годовое количество осадков составляет 450-550 мм, с максимумом в летние месяцы.

- Ветры: преобладают юго-западные и западные ветры, зимой часто бывают метели.

### 1.3 Метеорологические факторы и их влияние на условия движения автотранспорта

Погода оказывает огромное влияние на безопасность и комфорт водителя. Езда в неблагоприятных погодных условиях значительно отличается от вождения по сухой и чистой дороге. Это связано со следующими факторами [4, 8, 9]:

Сцепление с дорогой: сцепление шин с дорогой ухудшается, меняется взаимодействие автомобиля с дорогой, и появляется необходимость снижения скорости, как приведено на рисунке 1.2.

Коэффициент сцепления — это безразмерная величина, характеризующая силу сцепления между колесами транспортного средства и дорожным покрытием.

Факторы, влияющие на коэффициент сцепления [8, 9]:

- Тип дорожного покрытия: асфальт, бетон, гравий, щебень, грунт)
- Состояние дорожного покрытия: сухое, мокрое, снег, лед, грязь)
- Тип шин
- Скорость

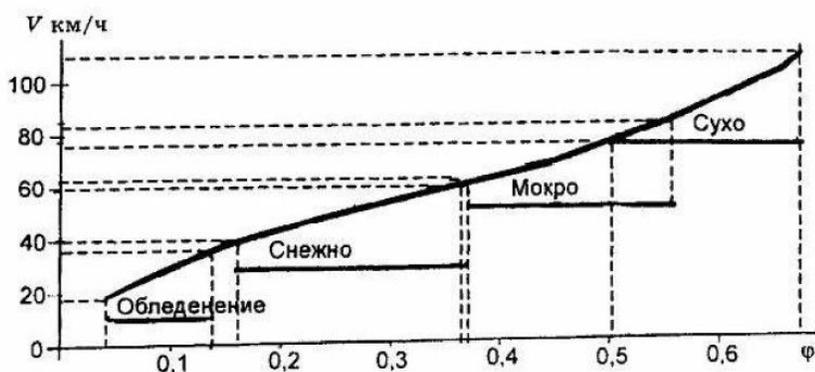


Рисунок 1.2 – Зависимость допустимой скорости движения  $V$  от коэффициента сцепления  $\phi$

Сопротивление движению: снег, грязь, гололед и неровности на дороге увеличивают сопротивление движению, снижая мощность двигателя, доступную для движения.

Восприятие дороги: снежные отложения и накат изменяют внешний вид дороги и обочин, а также параметры поперечного профиля, что искажает восприятие дороги водителем.

Видимость: туман, осадки, метель, пыльные бури и слепящее солнце ухудшают видимость, что также влияет на восприятие дорожной ситуации водителем.

Влияние этих погодных явлений на режим движения и безопасность напрямую зависит от их интенсивности и скорости автомобиля.

Из распоряжения Росавтодора от 25.11.2009 N 493-р "Об издании и применении ОДМ 218.2.003-2009 "Методические рекомендации по специализированному прогнозу состояния дорожного покрытия [3] – таблица 1.

Таблица 1- Условия движения транспорта в зависимости от метеорологических условий и состояния дорожного покрытия.

Параметры	Условия дорожного движения		
	Малоопасные (МО)	Опасные (О)	Особоопасные (ОО)
Состояние дорожного покрытия			
Состояние дорожного покрытия	<p>Мокрая поверхность дороги (слой воды менее 1 мм)</p> <p>На дороге слой снега до 1 см</p> <p>Иней на местах слоем до 1 мм</p>	<p>Дорога полностью покрыта снегом слоем более 1 см</p> <p>Дорога покрыта инеем или льдом более 1 мм</p>	<p>Дорога покрыта снегом слоем более 20 см</p> <p>Образование скользкости в результате резкого перепада температуры</p> <p>Образование стекловидного льда за счет замерзания осадков на всем протяжении дороги</p>
Погодные условия			
Осадки	<p>Без осадков или небольшие осадки (возможны даже умеренные): дождь, снег или снег с дождем - 1 мм/ч воды (снега 1 см/ч)</p>	<p>Беспрерывный умеренный или сильный снег, снег с дождем от 1 до 3 мм/ч (снега 1 - 3 см/ч)</p> <p>Местами ледяной дождь</p>	<p>Сильный снег или снег с дождем (интенсивность более 3 мм/ч, снега 3 см/ч)</p> <p>Сильный ледяной дождь на большей части территории</p>

Метель (поземок)	Скорость перемещения снега по поверхности дороги менее 1 см/ч (немного легкого снега)	Скорость перемещения снега по поверхности дороги до 1 см/ч (метель наметает на дорогу сугробы)	Скорость перемещения снега по поверхности дороги больше 1 см/ч (метель постоянно наметает снег на дорогу и его не успевают убирать)
Метеорологическая дальность видимости (МДВ)	Неограниченная	МДВ на участках менее 150 м. Дальность видимости заметно ухудшена из-за тумана, метели, поземки на дороге	МДВ почти на всей дороге менее 45 м (густой туман, очень сильная метель)
Изменение температуры воздуха	Незначительные изменения	Интенсивное повышение или резкое понижение (замерзание) с градиентом 3 °С/час	Очень интенсивное повышение или резкое понижение (замерзание) температуры с градиентом более 3 °С/ч
Снежные лавины	Отсутствуют	Отсутствуют	Любой интенсивности
Скорость ветра	Более 6 м/с	Более 20 м/с	Более 25 м/с

Зимняя скользкость дорожного покрытия представляет серьезную угрозу для автомобильных дорог и безопасности дорожного движения.

В метеорологии и в сфере обслуживания дорог существует несколько различных классификаций гололédно-изморозевых явлений и видов зимней скользкости. Каждая классификация основана на разных критериях, таких как процесс

образования льда, его структура, физические свойства, внешний вид и методы борьбы с ним. Все виды зимней скользкости отличаются друг от друга по цвету, структуре поверхности, а также по физическим свойствам, таким как плотность, прочность и сила сцепления (адгезия) с дорожным покрытием [3, 4].

Описание классификаций следует начать с самой простой, которая используется в нормативно-технической литературе (ВСН 20-87, ВСН 24-88).

В основу этой классификации положено довольно четкое различие видов зимней скользкости, как по внешним признакам, так и по физическим свойствам. Нормативные документы выделяют три вида скользкости: рыхлый снег, уплотненный снег и стекловидный лед. Эта классификация позволяет легко определять каждый вид скользкости визуально, но она ориентирована на существующие технологии работ, в основе которых лежит ликвидация скользкости, образовавшейся на дорожном покрытии.

Отложение *рыхлого снега* происходит в виде ровного слоя при снегопадах в безветренную погоду. Если снег сухой, то он не уплотняется колесами проходящего транспорта и остается в рыхлом состоянии. Плотность свежеснегавшего снега, в среднем, составляет около  $1 \text{ г/см}^3$ . Коэффициент сцепления при этом может понижаться до 0,2.

Уплотненный снег, или *снежный накат*, представляет собой слой спрессованного снега различной толщины. Это наиболее распространенный на дорогах вид зимней скользкости. Он образуется при уплотнении свежеснегавшего снега колесами автомобилей. Плотность снега в снежном накате повышается до  $0,6 \text{ г/см}^3$ , а коэффициент сцепления снижается до 0,1.

*Стекловидный лед* образуется на дорожном покрытии в виде гладкой стекловидной пленки толщиной от 1 до 3 мм, а иногда и в виде шероховатой ледяной корки толщиной более 10 мм.

Отложения имеют плотность от  $0,7$  до  $0,9 \text{ г/см}^3$ , а коэффициент сцепления снижается до 0,08.

Стекловидный лед является наиболее опасным видом скользкости. Он образуется при замерзании выпавших жидких осадков на дорожном покрытии с отрицательной температурой.

Эта классификация ориентирована на ликвидацию скользкости после ее образования. Выбор норм распределения противогололедных материалов производится в зависимости от температуры воздуха и толщины отложений на дорожном покрытии.

При переходе на более совершенные технологии организации работ по содержанию дорог, в основе которых должна лежать профилактика образования скользкости, этой классификацией пользоваться нецелесообразно, так как стекловидный лед образуется на дорожном покрытии при различном сочетании метеорологических и дорожных условий и динамике их изменения. Профилактика предусматривает учет изменения этих условий для правильного выбора норм распределения и вида противогололедного материала, а также технологии работ.

При более детальном учете погодных и дорожных условий все многообразие видов зимней скользкости искусственных покрытий можно разделить на шесть групп. Эта классификация и условия образования различных видов зимней скользкости приведены в таблице 2.

*Первая группа обледенения* автомобильных дорог - это те виды зимней скользкости, к образованию которых приводит замерзание влаги, имеющейся на дорожном покрытии. Такой вид обледенения метеорологи называют *гололедица*.

Источниками увлажнения покрытия могут стать: дождь, тающий снег, снег с дождем. Все эти виды осадков выпадают при положительных, но близких к нулю температурах воздуха. Источником увлажнения дорожного покрытия может стать влага, оставшаяся после его обработки противогололедными материалами. При резком понижении температуры влага, имеющаяся на покрытии, замерзает. Время последствия осадков - это время их возможного испарения, т.е. просыхания покрытия.

Таблица 2 - Виды зимней скользкости и условия их образования.

Вид зимней скользкости	Условия образования				
	Температура воздуха, °С	Температура покрытия, °С	Осадки, их вид	Состояние покрытия	Дополнительные условия
Гололедица	Ниже 0	Ниже 0	Любые, выпадающие при температуре воздуха выше -3°С	Мокрое	Время последствия осадков 12 ч
Черный лед	То же	Ниже 0, ниже точки росы	Нет	Сухое	-
Твердый налет	Выше 0	Ниже 0	Жидкие	-	-
	От 0 до -5	То же	Мокрый снег	-	Количество осадков $Q = 0$ мм
Гололед	Ниже 0	»	Переохлажденные жидкие (дождь, морось)	-	-
Снежный накат	От 0 до -6	-	Твердые (снег, мокрый снег)	-	Количество осадков не менее 5 мм
	От 2 До 0	-	То же	-	Интенсивность снегопада не менее 0,6 мм /ч
	От-6 до -10	-	»	-	Относительная влажность воздуха не менее 90%
Рыхлый снег	От-6 до-10	-	»	-	Относительная влажность воздуха менее 90%
	Ниже -10	-	»	-	-

Процессу образования гололедицы предшествует ряд метеорологических явлений [8]:

- повышение атмосферного давления на фоне выпадающих осадков;
- установление ясной безоблачной погоды после прекращения выпадения осадков;
- одновременное понижение относительной влажности и температуры воздуха от положительных значений до отрицательных.

Образование гололедицы наиболее вероятно при температурах воздуха от -2 до -6 °С, относительной влажности воздуха от 65 до 85%.

Отличительной особенностью этого вида скользкости является то, что температура воздуха может понижаться до значений, при которых использование

противогололедных солей неэффективно. Следовательно, для выбора норм распределения необходим прогноз минимальной температуры воздуха.

Ко второй группе обледенения относятся те виды зимней скользкости, которые возникают на сухой поверхности дороги за счет кристаллизации влаги из воздуха при температуре покрытия ниже точки росы. Такие виды скользкости в различных классификациях называют *иней, изморозь, «черный лед»*. Независимо от названия они имеют одну причину образования - понижение температуры дорожного покрытия ниже точки росы и одновременно ниже температуры замерзания влаги. Процессу обледенения сопутствуют и предшествуют следующие условия:

- ясная морозная погода (полное отсутствие облачности);
- отсутствие ветра;
- высокая относительная влажность воздуха;
- температура покрытия ниже нуля и ниже точки росы.

В результате радиационного охлаждения дорожного покрытия ниже точки росы влага из воздуха конденсируется на нем и превращается в иней или очень тонкий и прозрачный слой льда (из-за этого и используется термин «черный лед»).

Образование этого вида скользкости возможно в ночное время в широком диапазоне изменения температуры воздуха и при его относительной влажности, близкой к 100%. В зимний период такое сочетание метеорологических условий наиболее вероятно в прибрежных морских районах и в горной местности, где из-за высокой прозрачности воздуха температура покрытия сильно понижается в ночные часы при радиационном охлаждении. Наиболее часто такой вид скользкости будет возникать на автодорожных мостах, которые обладают меньшей теплоинерционностью, чем дорожная одежда, и имеют более низкую температуру покрытия при радиационном выхолаживании в ночное время.

Третью группу обледенения составляют те виды скользкости, которые образуются при выпадении жидких осадков на покрытие, имеющее отрицательную температуру. В нее входят *твердый, зернистый и ледяной налет*.

Основной причиной образования этого вида скользкости является потепление после длительных морозов, т.е. перемещение теплой воздушной массы воздуха, которая приносит с собой жидкие осадки. Этому процессу предшествуют следующие метеорологические явления:

- устойчивое падение атмосферного давления в течение суток;
- возможность выпадения жидких осадков по данным прогноза;
- устойчивый рост относительной влажности и температуры воздуха.

В *четвертую группу* объединены такие виды скользкости, которые образуются при выпадении переохлажденных осадков (дождя или мороси), к ним относят *гололед* и *зернистую изморозь*.

С точки зрения влияния дорожных условий, все виды зимней скользкости третьей и четвертой группы имеют одинаковые причины образования. Они образуются при выпадении жидких осадков (дождя, мороси или тающего снега) на покрытие, имеющее отрицательную температуру. С точки зрения метеорологов, различия состоят в состоянии выпадающих жидких осадков (переохлажденные, неперохлажденные), а это очень важно для прогноза.

В дорожной классификации все виды скользкости третьей и четвертой групп могут быть объединены в один вид, так как образование их происходит на фоне повышения температуры воздуха после длительных морозов. При выборе норм распределения противогололедных материалов необходимо учитывать температуру дорожного покрытия, которая всегда будет ниже температуры воздуха.

Образование этих видов скользкости наиболее вероятно при температурах воздуха от +2 до -5,2 °С, относительной влажности воздуха выше 90%.

*Пятую группу* составляют все виды зимней скользкости, образующиеся при уплотнении и укатывании снега на покрытии дороги. В нее входят *снежный накат*, *оледенелый* и *тающий снег*.

*Снежный накат* образуется при наличии на дорожном покрытии снега от снегопадов или метелей. Уплотнение снега происходит при определенных метеорологических условиях и влажности снега. Наиболее вероятно снежный накат образуется при следующих погодных условиях:

- выпадении снега при температурах воздуха от 0 до -6 °С (в этом диапазоне температур снег имеет повышенную влажность и легко уплотняется);

- при температурах воздуха от -6 до -10 °С образование снежного наката возможно при относительной влажности воздуха выше 90%, когда снег имеет достаточную влажность для уплотнения;

- если снег выпадает при положительных температурах воздуха (не выше +2 °С), то снежный накат наиболее вероятно образуется при высокой интенсивности снегопада (более 0,6 мм/ч в пересчете на воду), при которой снег не успевает растаять на покрытии и легко уплотняется транспортными средствами.

*Шестая группа* - рыхлый снег. Если снег выпадает при метеорологических условиях, отличных от вышеуказанных, то на дорожном покрытии он будет находиться в рыхлом состоянии. Следовательно, образование *рыхлого снега* возможно при снегопадах, выпадающих при пониженных температурах воздуха (ниже -10 °С), а при температуре воздуха от -6 до -10 °С снег не будет уплотняться при относительной влажности воздуха менее 90%.

В этой классификации четко представлены метеорологические условия, которые сопутствуют образованию каждого из видов зимней скользкости. Прогнозирование их количественных значений и анализ динамики изменения помогут предвидеть возникновение скользкости на покрытиях и выбрать необходимые технологии работ для обеспечения безопасности движения.

Как показывает анализ, образование зимней скользкости зависит, прежде всего, от температуры дорожного покрытия, т.е. от дорожных условий.

На температуру дорожных покрытий оказывает влияние большое количество параметров, как метеорологических, так и дорожных, в связи с этим она

будет различаться для разных участков дороги. Это приводит к тому, что скользкость может образоваться только на отдельном, небольшом участке, в то время как на соседних участках она не будет отмечена. Это существенно усложняет прогнозирование образования скользкости в зимний период, так как измерений температуры дорожных покрытий не производится ни в дорожных организациях, ни на метеорологических станциях.

## 2. Анализ режима метеорологических характеристик вдоль трассы

### 2.1 Температурный режим воздуха

Температурный режим — это совокупность значений температуры воздуха, наблюдаемых в определённом месте в течение определённого периода времени. Он описывает изменения температуры в течение суток, месяца, сезона или года, а также средние значения, максимальные и минимальные температуры. Эти изменения температуры можно увидеть на рисунке 2.1 и в таблице 3.

Температурный режим оказывает значительное влияние на автомобильную отрасль, затрагивая различные аспекты, такие как эксплуатация автомобилей, инфраструктура и логистика.

Низкие температуры затрудняют запуск двигателя, а также способствуют образованию льда и снега на дорогах, это значительно снижает сцепление, увеличивает тормозной путь и риск аварий. Высокие температуры могут привести к перегреву двигателя, повреждению компонентов и сокращению срока службы, к размягчению асфальта, делая его более подверженным деформации под нагрузкой. Температура влияет на расширение и сжатие дорожного покрытия, что может приводить к образованию трещин и разрушению дорог.

Взяв статистику изменения температуры воздуха в выбранных населенных пунктах за последние 10 лет представленную на рисунке 2.2, мы можем заметить, как линия тренда с каждым годом идет вверх, что свидетельствует об увеличении среднегодовой температуры.

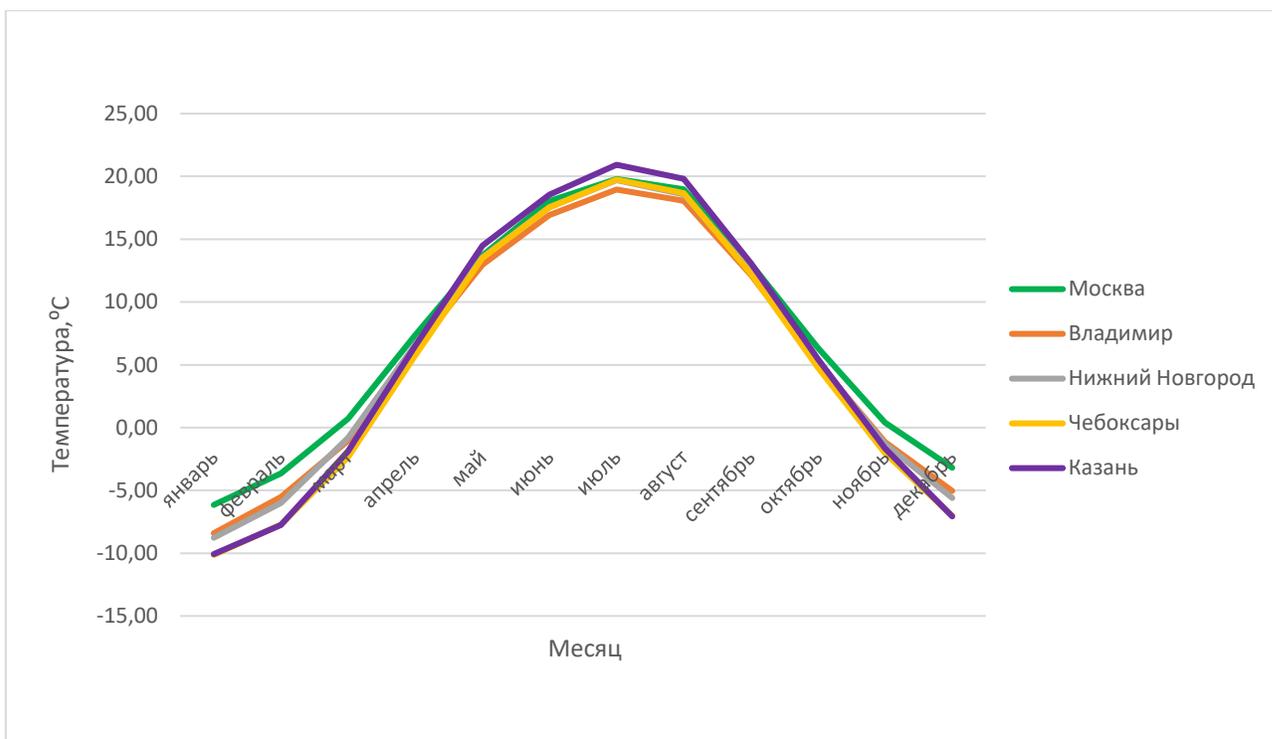


Рисунок 2.1 - Средние значения температуры по месяцам за последние 10 лет.

Таблица 3 - Средние значения температуры по месяцам за последние 10 лет.

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Москва	-6,15	-3,65	0,71	7,37	13,70	18,05	19,79	18,98	13,04	6,33	0,40	-3,20
Владимир	-8,41	-5,52	-1,04	6,26	12,97	16,93	18,95	18,05	12,15	5,20	-1,14	-5,05
Нижний Новгород	-8,77	-6,02	-0,81	6,60	13,55	17,55	19,70	18,56	12,43	5,22	-1,30	-5,61
Чебоксары	-10,14	-7,74	-2,36	5,74	13,50	17,53	19,75	18,66	12,25	4,75	-2,04	-7,02
Казань	-10,07	-7,75	-1,88	6,51	14,50	18,55	20,93	19,82	13,09	5,45	-1,65	-7,07

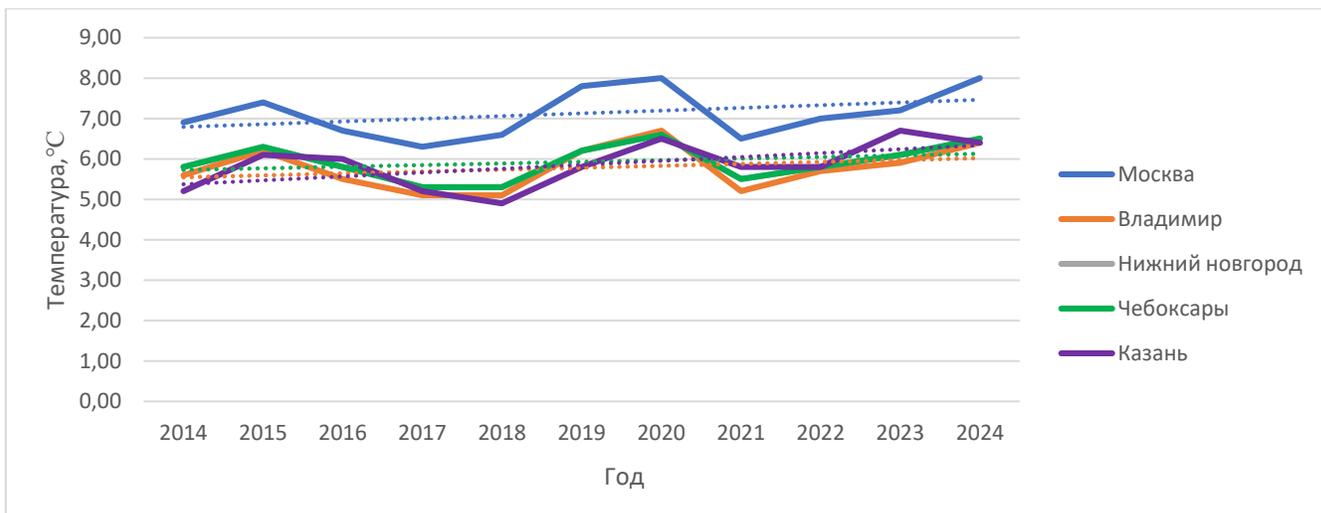


Рисунок 2.2 – Среднегодовая температура воздуха за период с 2014 по 2024 год.

Согласно рисунку 2.1, можно сказать, что наиболее жаркий месяц- июль, а наиболее холодный месяц- январь во всех пяти регионах.

Для удобства определения начала, конца и продолжительности теплого и холодного сезона, представим графики для каждого населенного пункта.

Точные даты начала и окончания теплого и холодного сезонов зависят от климатических условий конкретного региона. Границы между теплым и холодным сезонами обычно определяются на основе среднесуточной температуры воздуха. В качестве порогового значения часто используется 0 °С.

Тёплый сезон - это период, когда среднесуточная температура воздуха стабильно превышает пороговое значение. Характеризуется положительными температурами, отсутствием снега и льда на дорогах, возможностью проведения большинства видов дорожных работ: ремонт и восстановление дорожного покрытия, укрепление обочин и откосов, очистка дорог от грязи и пыли, покраска дорожной разметки, обслуживание систем водоотведения(очистка канав и ливневых стоков для предотвращения затопления дорог), ремонт и обслуживание мостов и путепроводов, уход за придорожной растительностью (обрезка деревьев и кустарников, которые могут ухудшать видимость или представлять опасность для движения)

Холодный сезон - это период, когда среднесуточная температура воздуха стабильно ниже порогового значения. Характеризуется отрицательными температурами, образованием снега и льда на дорогах, ограничением видов дорожных работ. Проводимые работы: уборка снега и льда, обработка дорог противогололедными реагентами, очистка обочин от снега, контроль состояния мостов и путепроводов (выявление и устранение дефектов, вызванных низкими температурами), предупреждение водителей о неблагоприятных погодных условиях, подготовка к следующему теплomu сезону (планирование и закупка материалов для ремонта

дорог в теплый сезон). Начало и конец этих сезонов можно увидеть на рисунках 2.3 – 2.7.

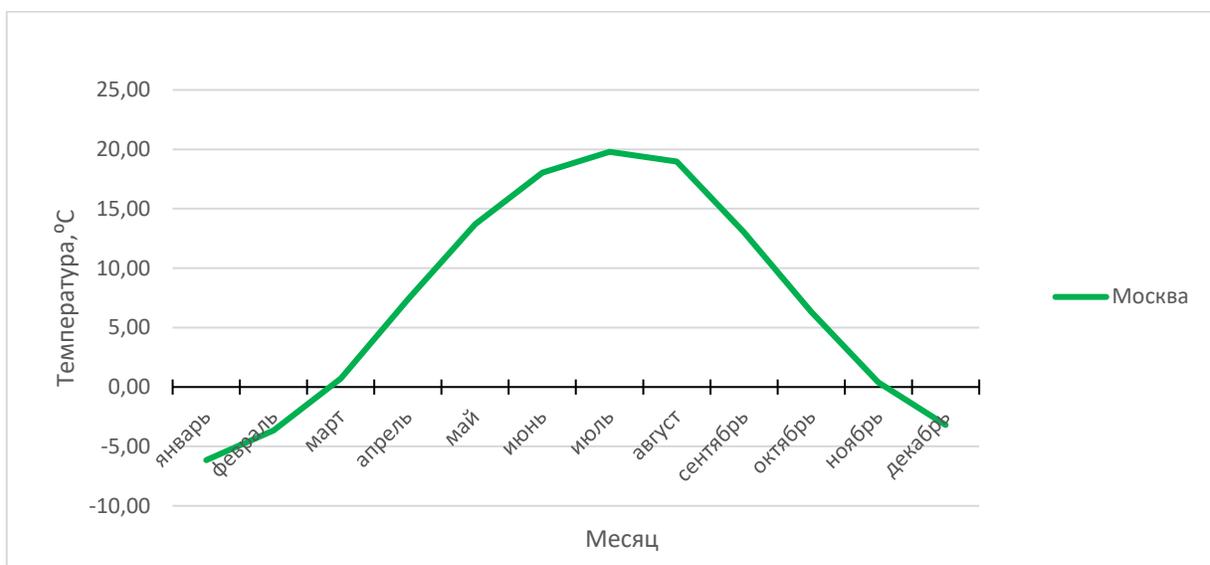


Рисунок 2.3 - Средние значения температуры по месяцам за последние 10 лет для города Москва.

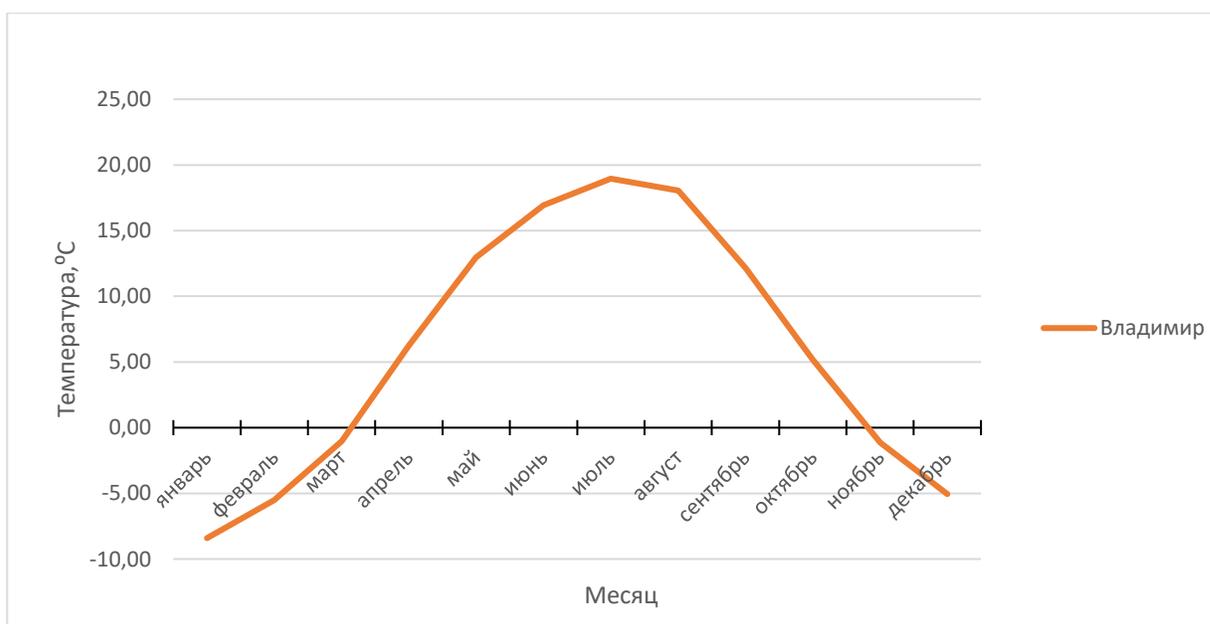


Рисунок 2.4 - Средние значения температуры по месяцам за последние 10 лет для города Владимир.

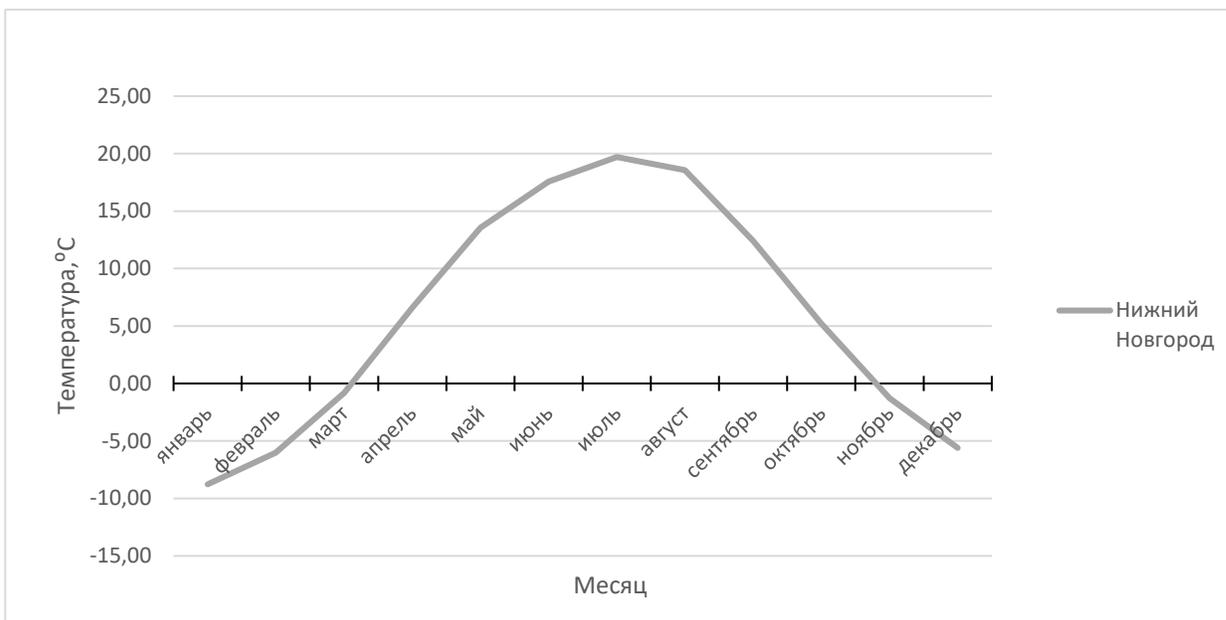


Рисунок 2.5 - Средние значения температуры по месяцам за последние 10 лет для города Нижний Новгород.

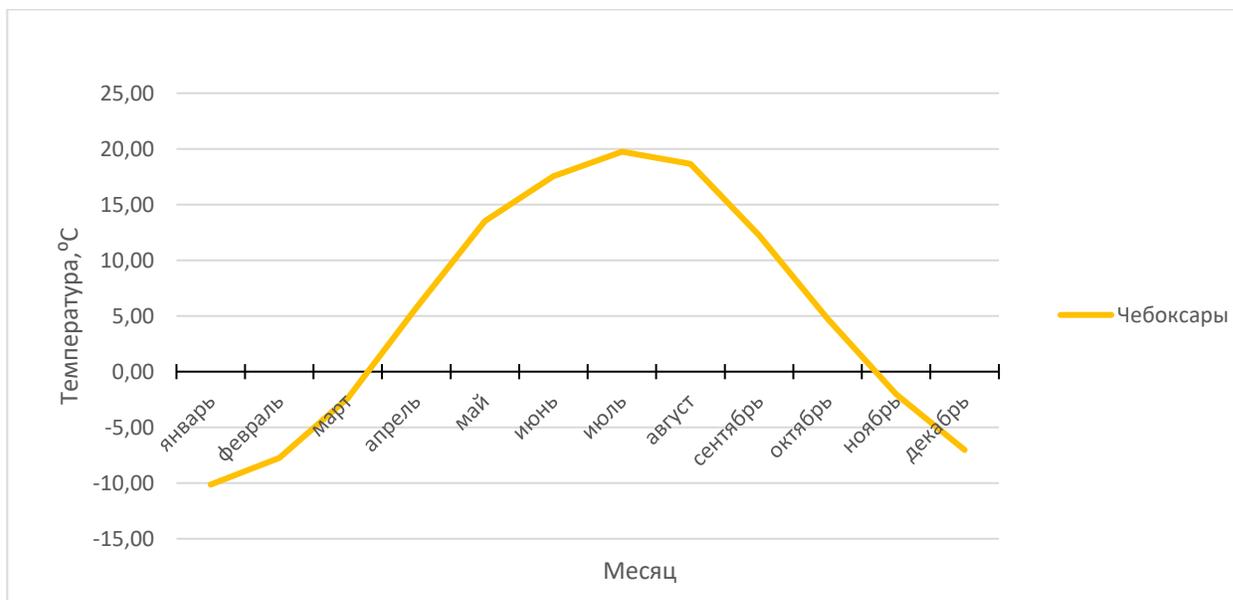


Рисунок 2.6 - Средние значения температуры по месяцам за последние 10 лет для города Чебоксары.

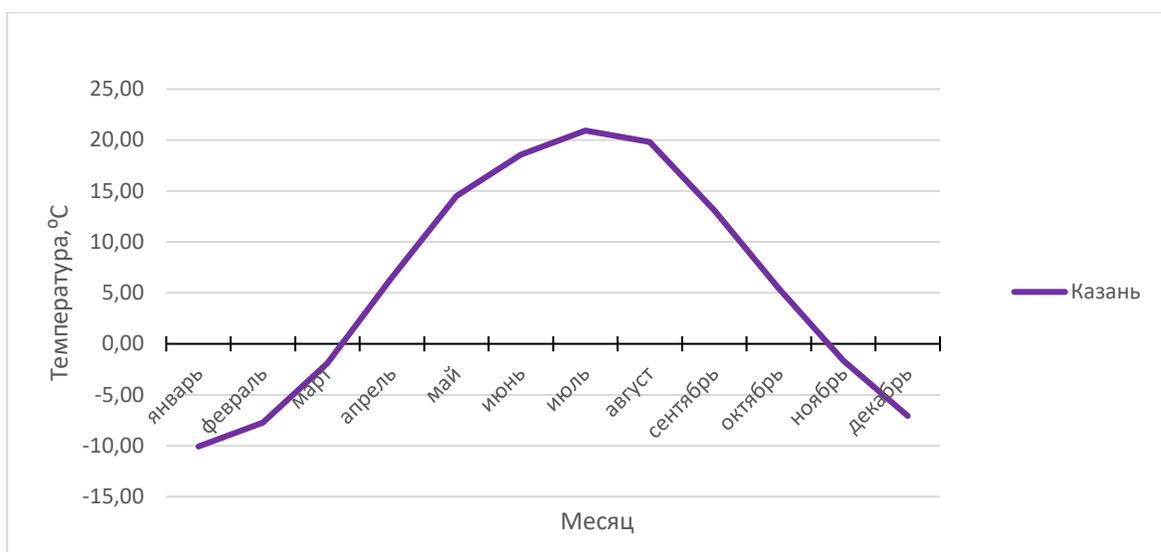


Рисунок 2.7 - Средние значения температуры по месяцам за последние 10 лет для города Казань.

Рассмотрев все рисунки, можно составить таблицу 4 характеризующую сезоны.

Таблица 4 - Характеристики сезонов трассы М-12 «Восток» с переходным значением 0°C.

Населенные пункты	Дата начала теплого сезона (ТС)	Дата завершения теплого сезона (ХС)	Продолжительность ТС	Продолжительность ХС
Москва	08.03	20.11	257	108
Владимир	20.03	07.11	232	133
Нижний Новгород	18.03	07.11	234	131
Чебоксары	27.03	05.11	223	142
Казань	23.03	06.11	228	137

В городе Москва теплый сезон начинается раньше и длится дольше, чем в других выбранных населенных пунктах. В городе Чебоксары теплый сезон начинается позже и длится меньше остальных.

## 2.2 Режим осадков

Осадки создают серьезные вызовы для автодорожной отрасли, требуя дополнительных ресурсов на содержание дорог и обеспечении безопасности.

Влияние на безопасность дорожного движения [8, 9]:

- Ухудшение сцепления с дорогой. Вода, снег и лед на дорожном покрытии снижают сцепление шин с дорогой, увеличивая тормозной путь и риск заноса.
- Снижение видимости. Дождь, снег и другие осадки ухудшают видимость на дороге, затрудняя определение расстояния до других транспортных средств и объектов. Это повышает риск столкновений, особенно на высоких скоростях.
- Аквапланирование. При большом количестве воды и большой скорости автомобиля на дороге шины не успевают отводить воду, что приводит к потере сцепления с дорогой и полной потере управления автомобилем.

Воздействие на состояние дорожного покрытия:

- Разрушение асфальта. Вода, проникая в трещины и поры дорожного покрытия, замерзает и расширяется, что приводит к образованию ям, выбоин и колеиности. Этот процесс ускоряется при перепадах температур.
- Размывание обочин и откосов. Интенсивные дожди могут размывать обочины и откосы дорог, что приводит к их обрушению и повреждению дорожной инфраструктуры.

Смотря на рисунок 2.8, видно, что наибольшее количество осадков выпадает в июле, а наименьшее в марте, для всех пяти регионов.

Также можно сопоставить рисунок 2.9 с распределением аварийности за 2023 год (это распределение соответствует распределению предыдущих лет), он

показывает что наименьшее количество ДТП зарегистрировано с февраля по апрель. Рост аварийности начинается с мая. Наибольшими значениями характеризуется период с июля по октябрь [10]. Для сравнения также используем корреляционный анализ представленный на рисунке 2.10. Был рассчитан коэффициент корреляции, который характеризует степень влияния осадков на ДТП, который был равен значению 0,62, свидетельствующий о средней степени влияния.

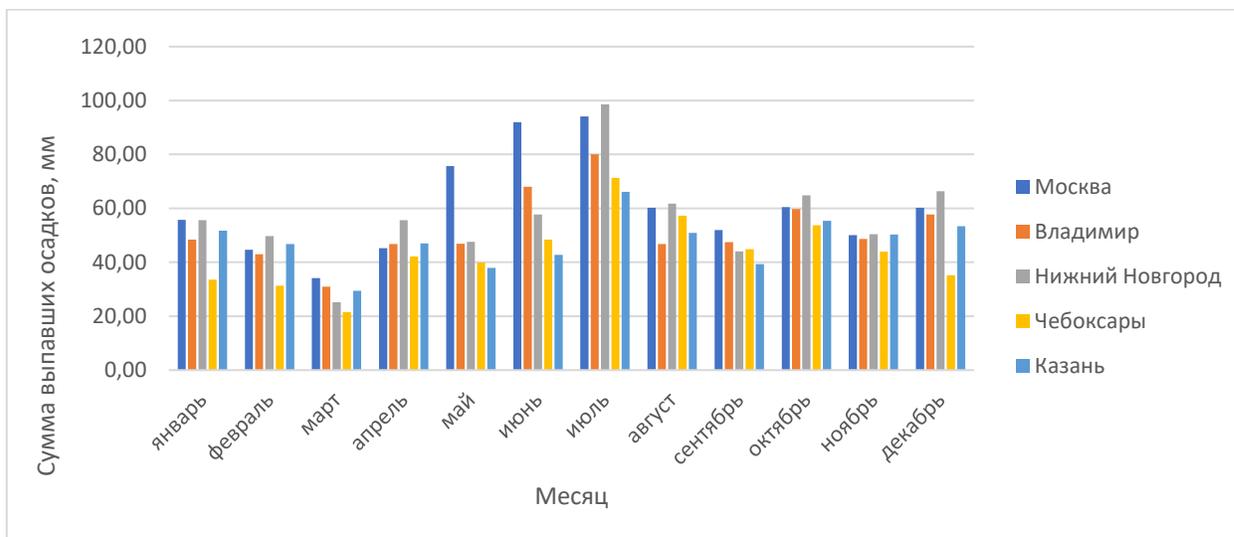


Рисунок 2.8 - Средние значения осадков по месяцам за последние 10 лет.

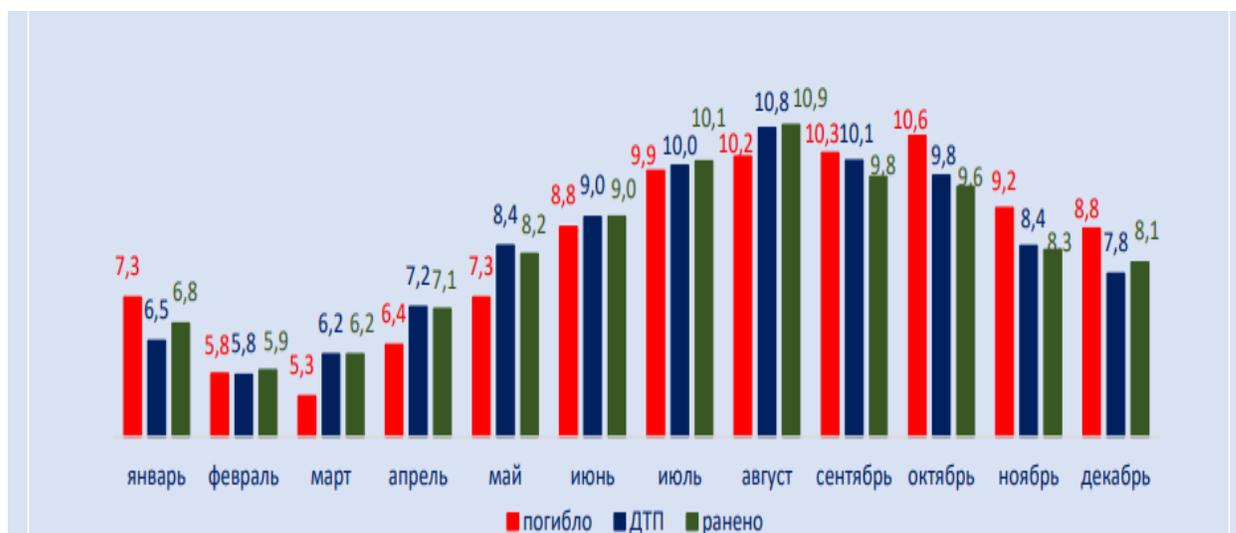


Рисунок 2.9 - Распределение показателей аварийности по месяцам за 2023 год.

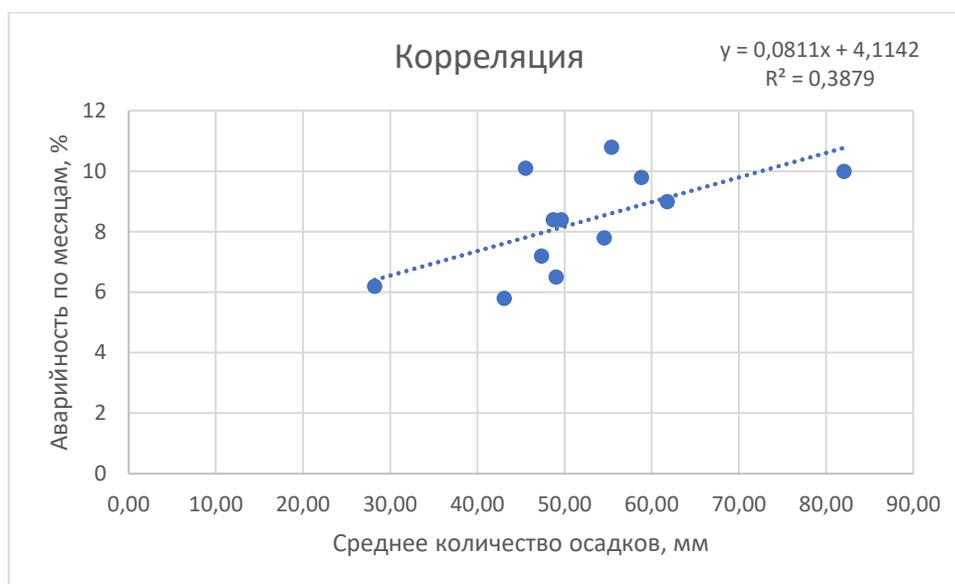


Рисунок 2.10 - Зависимость ДТП от количества осадков.

Также для автодорожной отрасли важен снежный покров, так как он несет негативные последствия и предоставляет опасность дорожного движения.

Он снижает сцепление и скорость движения транспорта, способствует образованию снежных валов и сугробов, тем самым сужает проезжую часть, затрудняя разъезд транспорта.

В анализе режима осадков важное место занимает характер залегания снежного покрова. Снежный покров создает условия для метелевого переноса снега при превышении скорости ветра выше 6 м/сек, предполагает содержание очистительной техники, закупки песка и антиледовых реагентов и наконец, весной, запасы воды накопленные снегом, приводят к сложностям по отводу излишков воды от дорожного полотна. Режим снежного покрова приводится на рисунке 2.11.

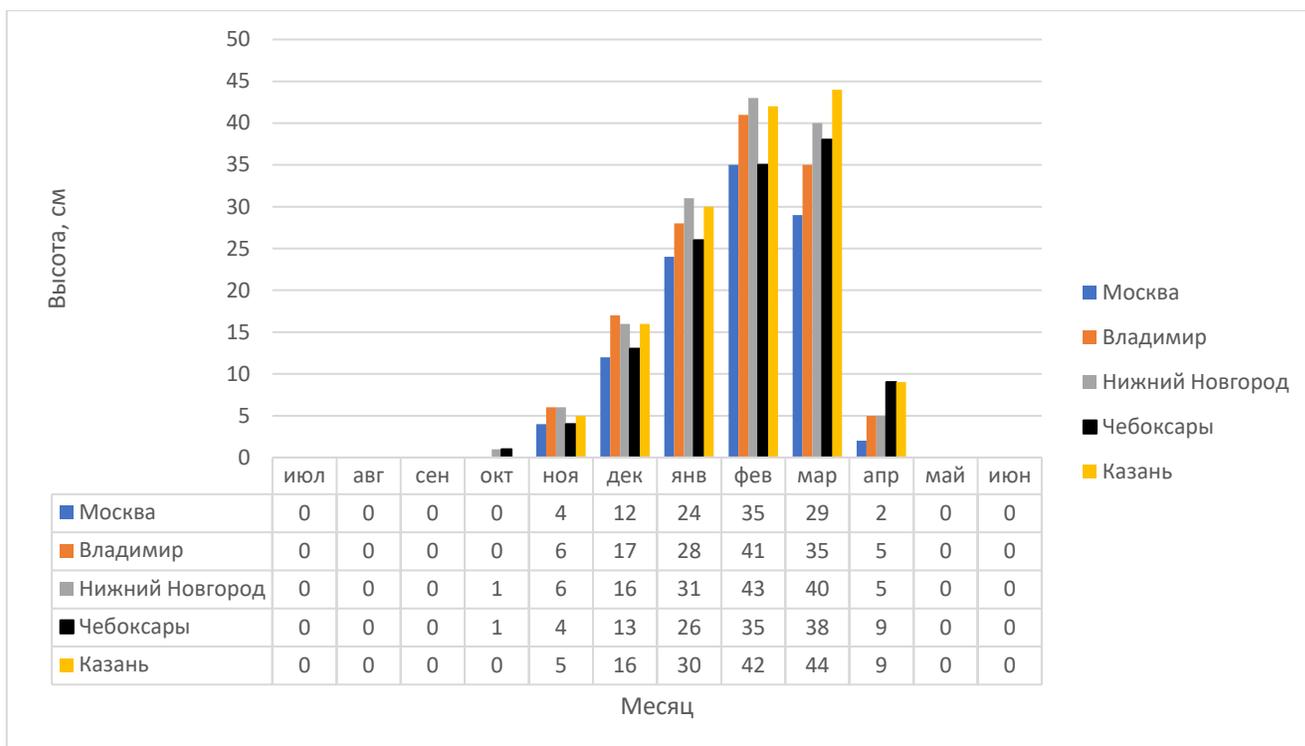


Рисунок 2.11 - Средняя высота снежного покрова по месяцам.

С октября по апрель присутствует снежный покров. Наибольшая высота снежного покрова приходится на февраль для Московской, Владимирской, Нижегородской областей, а для Республик Чувашия и Татарстан приходится на март, согласно рисунку 2.11.

Также можно посчитать запасы влаги на 1 га в зависимости от высоты снега по последней декаде марта месяца и плотности снега. Для расчета необходимо использовать следующую формулу [11]:

$$W = H \cdot \rho \cdot 10 \quad (1)$$

где  $W$  - запас воды (мм) - количество воды, которое образуется при таянии снега на данной площади.

$H$  - высота снежного покрова (см)

$\rho$  - плотность снега (г/см<sup>3</sup>)

10 - коэффициент для перевода единиц измерения (см \* г/см<sup>3</sup> = мм)

Плотность снега в последней декаде марта обычно составляет 0,3–0,5 г/см<sup>3</sup>.

Высота снега представлена на рисунке 2.11.

Рассчитываем запасы влаги на 1 га для города Москва:

$$W_M = 29 \cdot 0,4 \cdot 10 = 116 \text{ мм}$$

Аналогично рассчитываем для других населенных пунктов и получаем таблицу 5 со значениями.

Таблица 5 - Запасы влаги на 1 га в зависимости от высоты снега по последней декаде марта месяца и плотности снега для каждого населенного пункта.

Москва	116
Владимир	140
Нижний Новгород	160
Чебоксары	152
Казань	176

Запас воды в снежном покрове является ключевым фактором при оценке риска весенних паводков. Большой запас воды увеличивает вероятность наводнений, которые могут повредить дорожное полотно, мосты, путепроводы и другие элементы дорожной инфраструктуры. Планирование работ по очистке водоотводных каналов, установке временных ограждений и мониторингу уровня воды основывается на прогнозируемом запасе воды. Знание запасов воды позволяет прогнозировать сроки начала активного таяния снега. Это, в свою очередь, помогает планировать работы по ремонту дорожного покрытия, которые могут быть ограничены из-за подтопления участков дорог. Информация о запасах воды позволяет прогнозировать вероятность образования гололеда и наледи на дорогах после таяния снега и последующего понижения температуры. Это позволяет заранее предупреждать водителей, устанавливая соответствующие знаки и принимать меры по обработке дорожного полотна.

### 2.3 Особенности ветрового режима

Ветер оказывает воздействие на автомобильные дороги и транспорт. Его влияние варьируется от локальных неудобств до серьезных угроз безопасности и целостности дорожных сооружений.

Сильный ветер может раскачивать высокие транспортные средства, сносить легковые автомобили, дорожные знаки, ограждения, щиты.

Ветер способствует загрязнению дороги, принося пыль, песок, мусор, что в результате снижает сцепление, способствует переносу твердых частиц, снега (метель), влияя на видимость. Режим ветра для каждого города представлены на рисунках 2.12 – 2.17.

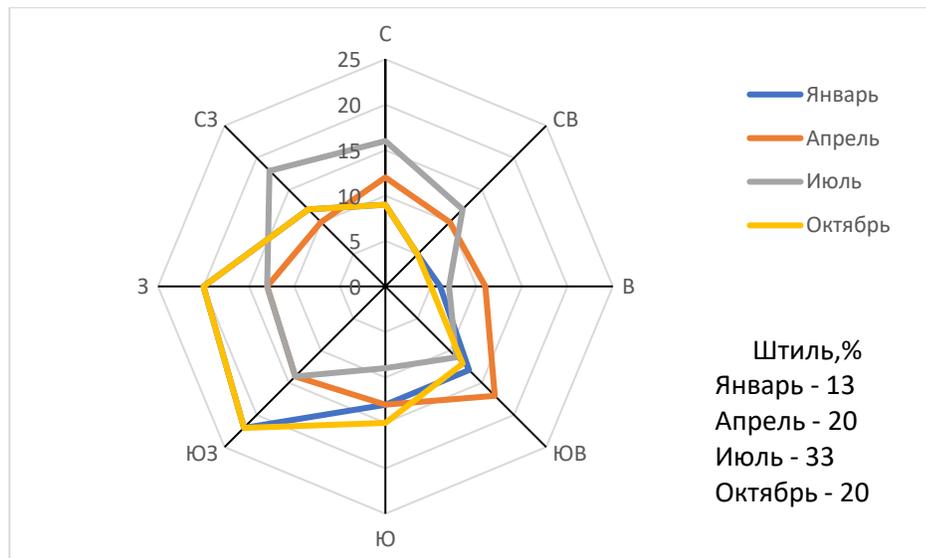


Рисунок 2.12 – Роза ветров города Москва

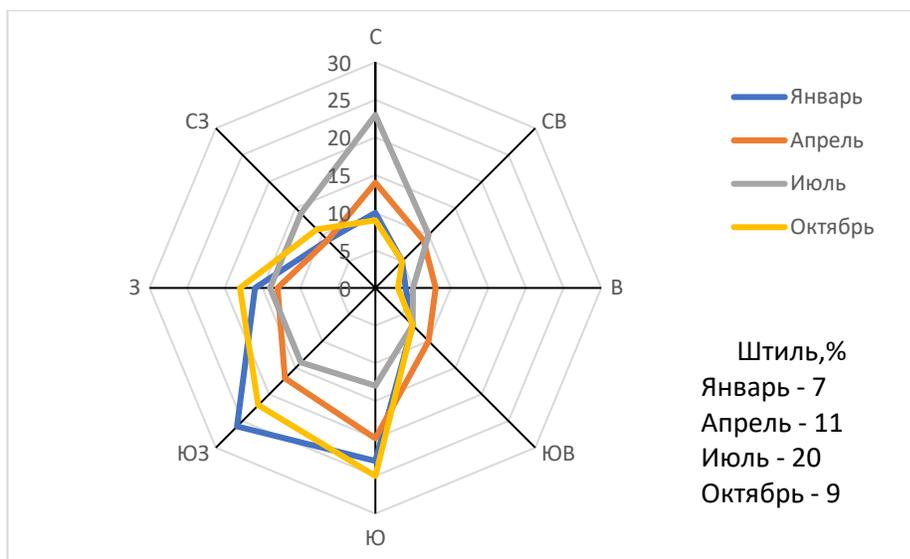


Рисунок 2.13 – Роза ветров города Владимир

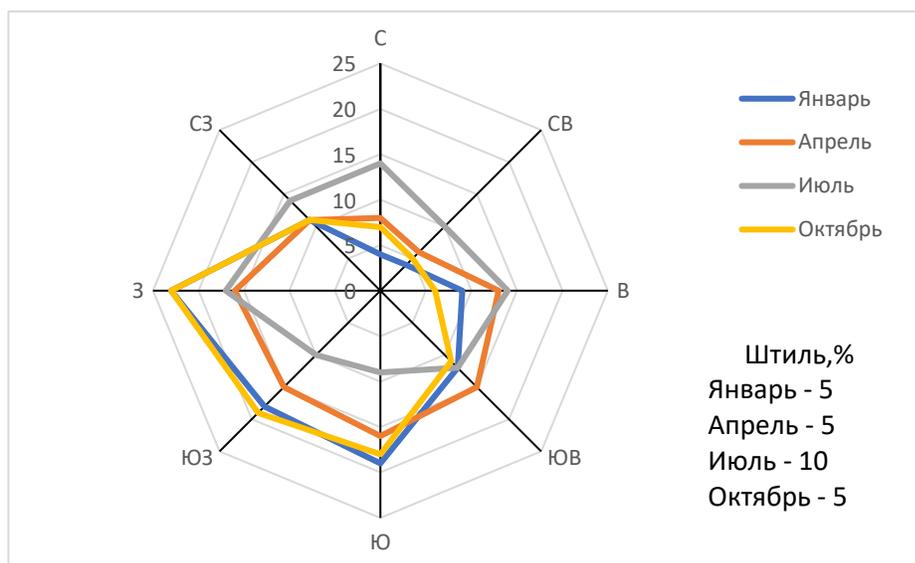


Рисунок 2.14 – Роза ветров города Нижний Новгород

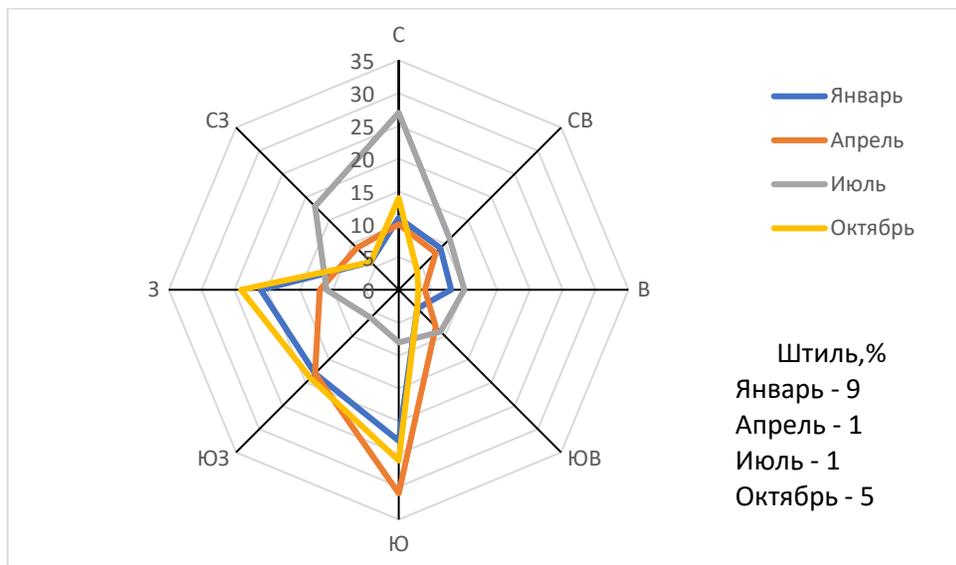


Рисунок 2.15 – Роза ветров города Чебоксары

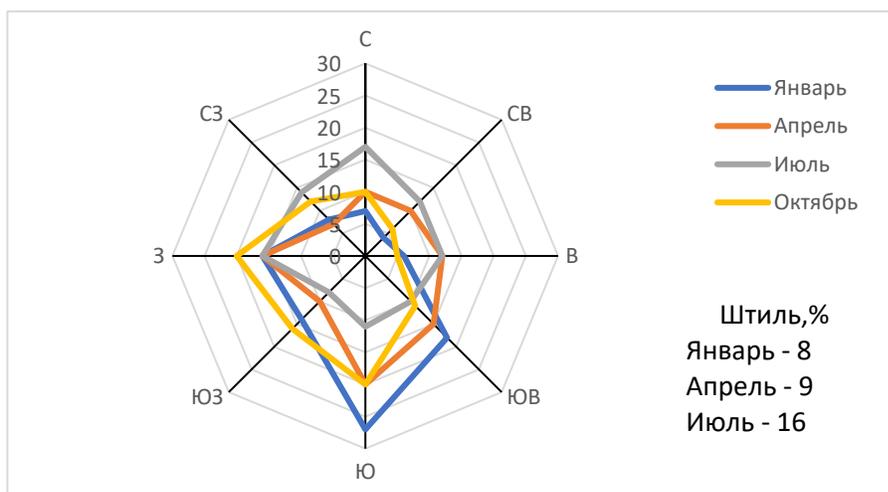


Рисунок 2.16 – Роза ветров города Казань

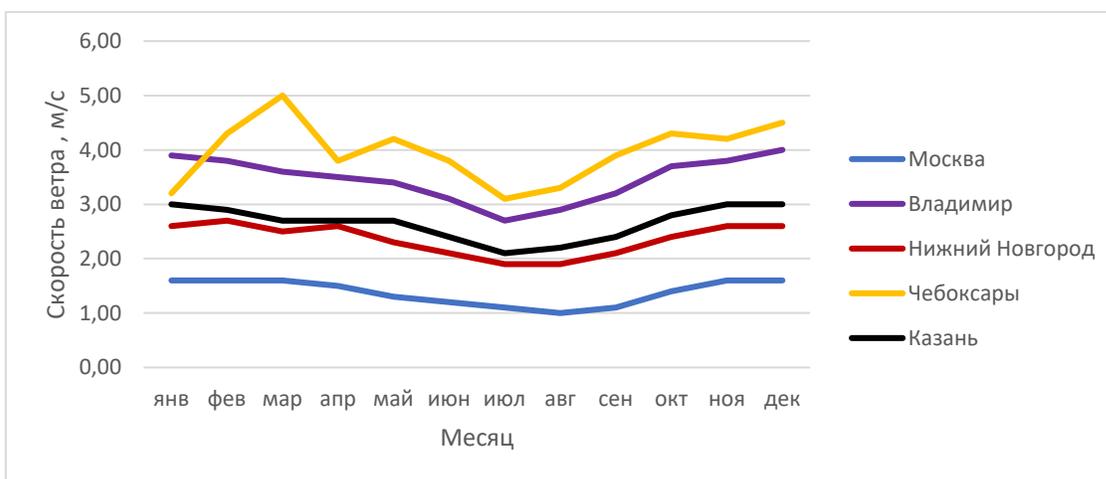


Рисунок 2.17 – Годовой ход скорости ветра.

Рисунок 2.12, говорит нам о том, что в городе Москва, в зимний месяц (январь) преобладают ветра юго-западного и западного направлений, в весенний месяц (апрель) преобладают ветра юго-восточного направления, в летний месяц (июль), преобладают ветра северо-западного и северного направлений, в осенний месяц (октябрь), преобладают ветра юго-западного и западного направлений. Штиль преобладает в летний месяц и составляет 33 %.

Рисунок 2.13, говорит нам о том, что в городе Владимир, в зимний месяц (январь) преобладают ветра юго-западного и южного направлений, в весенний месяц (апрель) преобладают ветра южного направления, в летний месяц (июль), преобладают ветра северного направления, в осенний месяц (октябрь), преобладают ветра южного и юго-западного направлений. Штиль преобладает в летний месяц и составляет 20 %.

Рисунок 2.14, говорит нам о том, что в городе Нижний Новгород, в зимний месяц (январь) преобладают ветра западного и юго-западного направлений, в весенний месяц (апрель) преобладают ветра южных направлений, в летний месяц (июль), преобладают ветра западного направления, в осенний месяц (октябрь), преобладают ветра западного и юго-западного направлений. Штиль преобладает в летний месяц и составляет 10 %.

Рисунок 2.15, говорит нам о том, что в городе Чебоксары, в зимний месяц (январь) преобладают ветра южного и западного направлений, в весенний месяц (апрель) преобладают ветра южного направления, в летний месяц (июль), преобладают ветра северного направления, в осенний месяц (октябрь), преобладают ветра южного и западного направлений. Штиль преобладает в зимний месяц и составляет 9 %.

Рисунок 2.16, говорит нам о том, что в городе Казань, в зимний месяц (январь) преобладают ветра южного направления, в весенний месяц (апрель) преобладают ветра южного направления, в летний месяц (июль), преобладают ветра

северного направления, в осенний месяц (октябрь), преобладают ветра южного и западного направлений. Штиль преобладает в летний месяц и составляет 16 %.

Рисунок 2.17, говорит нам о том, что годовой ход скорости ветра равномерный без явного максимума и минимума, для всех выбранных городов, кроме Чебоксар, у которого максимум приходится на март, а минимум на январь. В остальных городах минимальные значения скорости ветра приходится с июля по август для Москвы и Нижнего Новгорода и на июль для Владимира и Казани. Максимальные значения скорости ветра для Москвы приходится с ноября по март, для Владимира на декабрь, для Нижнего Новгорода на февраль, для Казани с ноября по декабрь.

#### 2.4 Режим опасных явлений погоды

При анализе погодно-климатических условий, влияющих на автотранспортную отрасль не обойти опасные явления погоды (ОЯП). С сайта метео.ру [12] были взяты интересующие нас неблагоприятные явления погоды с 1990 по 2022 года для каждой выбранной области (таблица 6).

Таблица 6 - Количество случаев опасных явлений погоды.

Регион	Московская область	Владимирская область	Нижегородская область	Республика Татарстан	Чувашская Республика
Явление	кол-во случаев				
Аномально-жаркая погода	2	2	6	6	6
Аномально-холодная погода	3	4	9	7	3
Гололед	6	6	6	5	4
Град	9	1	9	28	6
Дождь	18	0	19	26	10
КНЯ	42	13	51	80	88
Ливень	17	2	1	17	20
Метель	0	3	0	22	22

Резкое понижение температуры	1	2	4	3	6
Сильная жара	4	1	10	10	20
Сильный мороз	3	2	7	11	15
Сложные отложения	1	4	6	1	1
Смерч	3	0	7	1	5
Снег	3	6	10	4	6
Сильный ветер	27	11	45	76	16
Туман	2	2	1	3	4

Аномально-жаркая, аномально- холодная погода, сильная жара, мороз и резкое понижение температуры приводят к короткой службе некоторых деталей автомобилей (двигателя), к деформации и разрушению дорог.

Гололед, сложные отложения и осадки приводят к ухудшению сцепления с дорогой, в результате к большому числу ДТП и разрушению дорожного покрытия. В последствии больших трат на реагенты, уборку техникой, починки асфальта.

Метель, туман и осадки приводят к снижению видимости, у водителя искажено восприятие расстояния и скорости.

Смерч приводит к разрушению и деформации инфраструктуры, завалу и блокировке путей, опрокидыванию автомобилей, травмам и гибели людей (пассажиров, водителей).

Комплекс неблагоприятных метеорологических явлений — это общее понятие, описывающее ситуацию, когда одновременно или последовательно возникают несколько неблагоприятных метеорологических явлений, каждое из которых по интенсивности (силе) не достигает критериев опасного природного явления, но близко к ним, оказывающих негативное влияние на окружающую среду, людей,

экономику или инфраструктуру. Явления в комплексе не просто происходят одновременно, но и могут быть связаны между собой, усиливая общее негативное воздействие. Одно явление может провоцировать или усугублять другое. (Примеры: низкая температура + метель + сильный ветер, гололёд + налипание мокрого снега при сильном ветре + сильный мокрый снег (дождь со снегом, снег с дождём) + сильный снег).

### 3. Учет и оценка специализированных погодных-климатических характеристик, влияющие на автомагистраль

#### 3.1 Метелевый снегоперенос и снегопринос

Снегоперенос – объем снега, который переносится через заданную точку со всех направлений за зимний период.

В основу аналитического метода расчета снегопереноса положена зависимость между осредненной интенсивностью горизонтального переноса снега и скоростью ветра на высоте флюгера [13]:

$$i = C \cdot V^3 \quad (2)$$

где  $i$  — интенсивность горизонтального переноса снега, м/м;

$C$  - коэффициент пропорциональности, величина которого зависит от плотности снега в метелевых сугробах (равен 0,00031 для регионов ЕТР)

$V$  — скорость ветра на высоте 10 м. м/с.

Количество переносимого снега  $W$  (м/м) за время действия  $t$  метелевого ветра определенного направления вычисляется по формуле:

$$W = i \cdot t \quad (3)$$

где  $W$  - количество переносимого снега (м/м);

$t$  - время действия метелевого ветра определенного направления;

$i$  — интенсивность горизонтального переноса снега, м/м.

Расчет снегопереноса по метеорологическим данным.

Для вычисления объемов снеготранспорта из метеорологических ежемесячных необходимо произвести выборку случаев со следующими метеорологическими условиями:

- температура воздуха ниже 0 °С;
- скорость ветра на высоте флюгера (10 м) более 6 м/с;
- высота снежного покрова (по постоянной рейке) не менее 10 см.

Все случаи для конкретной метеорологической станции за каждый зимний сезон группируют по направлениям и скоростям ветра, и их количество заносится в таблицу. Такие таблицы получились под номерами 6-9 и к ним для лучшего визуального рассмотрения прилагаются рисунки 3.1- 3.4.

В городе Москва за зимний сезон 2009- 2024 годов нет случаев, удовлетворяющих всем трем условиям.

Таблица 6 - Повторяемость метелевых ветров по направлениям и скоростям за зимний сезон 2009-2024 годов (15 лет) для города Владимир.

Скорость ветра, м/с	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
6	10	3	3	0	11	12	16	4
7	5	1	1	0	3	4	5	1
8	4	0	0	0	0	0	1	0
9	1	0	0	0	1	0	0	0
11	1	0	0	0	0	0	0	0
Сумма	21	4	4	0	15	16	22	5

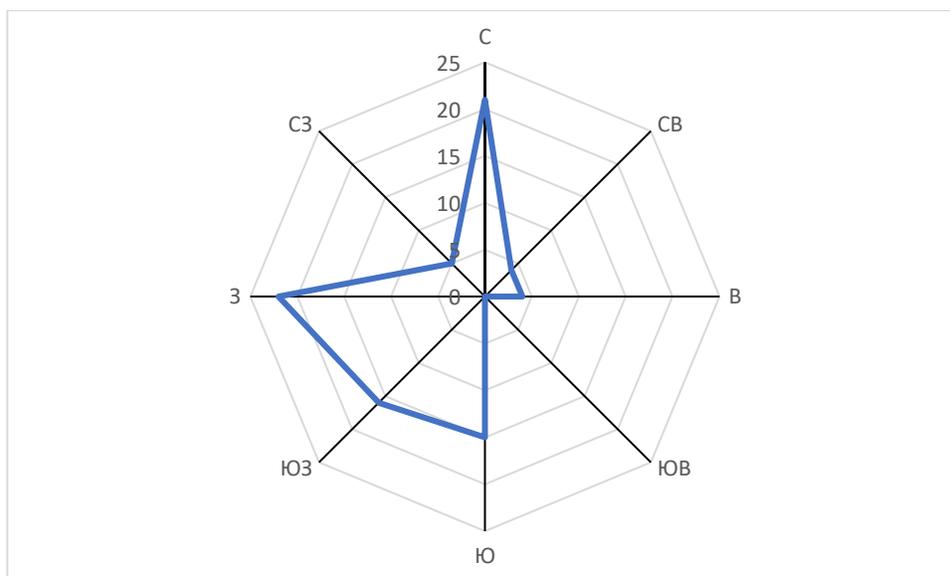


Рисунок 3.1 – Количество метелевых ветров по направлениям города Владимир.

Таблица 7 - Повторяемость метелевых ветров по направлениям и скоростям за зимний сезон 2009-2024 годов (15 лет) для города Нижний Новгород.

Скорость ветра, м/с	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
6	0	1	4	1	0	0	0	0
Сумма	0	1	4	1	0	0	0	0

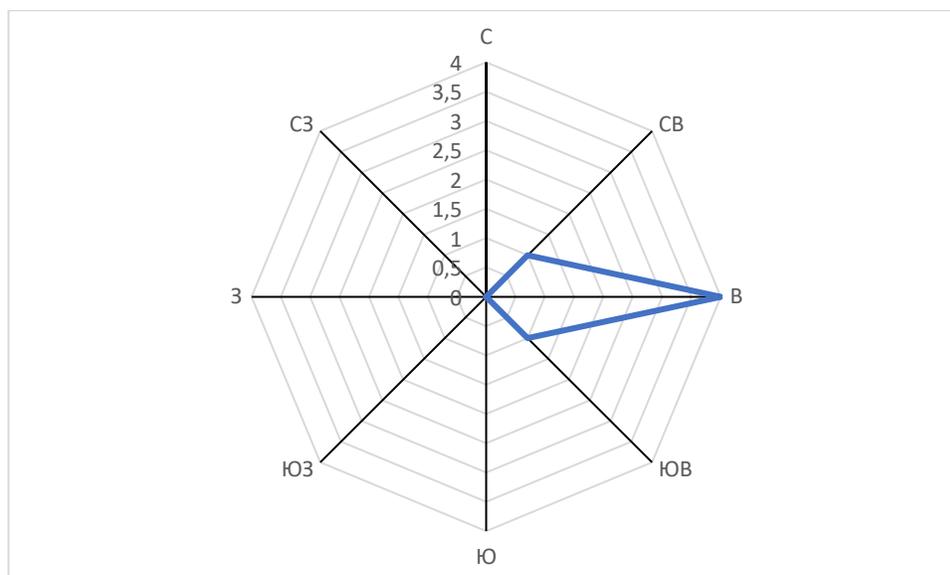


Рисунок 3.2 – Количество метелевых ветров по направлениям города Нижний Новгород.

Таблица 8 - Повторяемость метелевых ветров по направлениям и скоростям за зимний сезон 2009-2024 годов (15 лет) для города Чебоксары.

Скорость ветра, м/с	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
6	12	0	10	5	46	14	12	7
7	8	2	6	9	49	10	16	1
8	1	0	0	1	21	3	5	1
9	2	0	0	2	10	3	4	0
10	1	0	0	1	2	5	5	0
11	2	0	0	0	2	1	0	0
Сумма	26	2	16	18	130	36	42	9

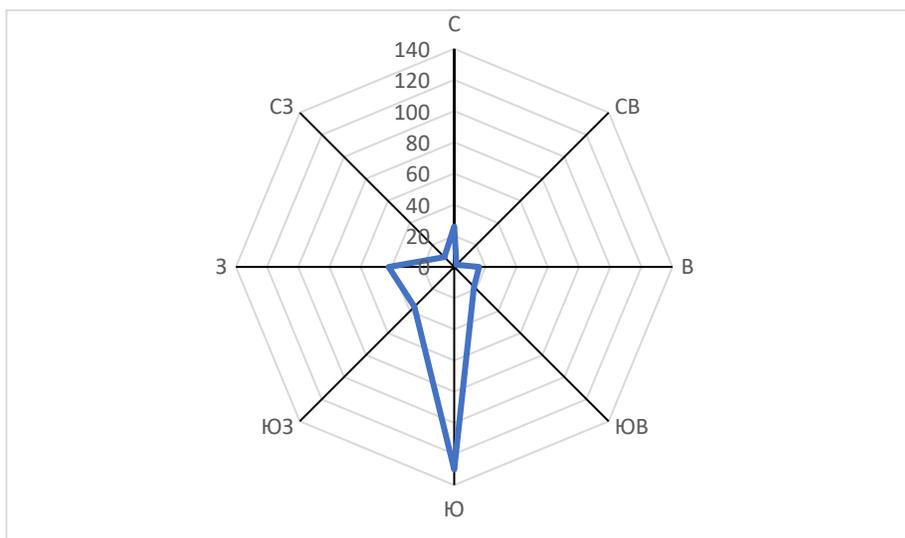


Рисунок 3.3 – Количество метелевых ветров по направлениям города Чебоксары.

Таблица 9 - Повторяемость метелевых ветров по направлениям и скоростям за зимний сезон 2009-2024 годов (15 лет) для города Казань.

Скорость ветра, м/с	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
6	0	0	0	0	0	0	2	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	1	0	0	0
Сумма	0	0	0	0	1	0	3	0

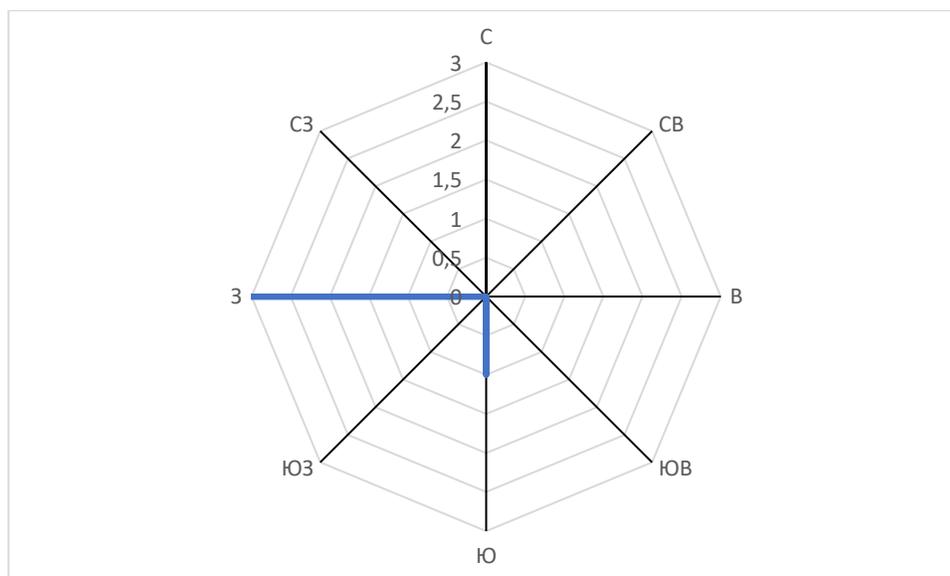


Рисунок 3.4 – Количество метелевых ветров по направлениям города Чебоксары.

По данным таблиц (6-9) рассчитаем для каждого города снегоперенос по формуле (2) и количество переносимого снега по формуле (3).

Продолжительность метелевого ветра  $t$  формируется как 3 часа при восьмисрочных наблюдениях.

Получается:

$t = 3$  – продолжительность метелевого ветра;

Количество случаев ветра определенного направления – берем из таблиц;

$C = 0,00031$  (для регионов ЕТР) - коэффициент пропорциональности, величина которого зависит от плотности снега в метелевых сугробах;

$V = 6...11$  - скорость ветра на высоте 10 м. м/с. (берем из таблиц).

Для города Владимир и восточного ветра:

Интенсивность горизонтального переноса снега, м/м:

$$i = 0,00031 * 6^3 = 0,06696 \text{ м/м}$$

Количество переносимого снега (м/м):

$$W = 0,06696 * 3 (t) * 3 (\text{количество случаев}) = 0,60 \text{ м/м}$$

Аналогично решаем, для других направлений ветра и остальных населенных пунктов. И получаем таблицы (10-13) со значениями объема переносимого снега  $W$  (м/м).

Таблица 10 - Объем переносимого снега  $W$  (м/м) для Владимира.

Скорость ветра, м/с	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
6	2,01	0,60	0,60	0,00	2,21	2,41	3,21	0,80
7	1,59	0,32	0,32	0,00	0,96	1,28	1,59	0,32
8	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00
9	0,68	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00
11	1,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Сумма	7,42	0,92	0,92	0,00	3,39	3,69	5,29	1,12

Таблица 11 - Объем переносимого снега  $W$  (м/м) для Нижнего Новгорода.

Скорость ветра, м/с	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
6	0,00	0,20	0,80	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
Сумма	0,00	0,20	0,80	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблица 12 - Объем переносимого снега  $W$  (м/м) для Чебоксар.

Скорость ветра, м/с	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
6	2,41	0,00	2,01	1,00	9,24	2,81	2,41	1,41
7	2,55	0,64	1,91	2,87	15,63	3,19	5,10	0,32
8	0,48	0,00	0,00	0,48	10,00	1,43	2,38	0,48
9	1,36	0,00	0,00	1,36	6,78	2,03	2,71	0,00
10	0,93	0,00	0,00	0,93	1,86	4,65	4,65	0,00
11	2,48	0,00	0,00	0,00	2,48	1,24	0,00	0,00
Сумма	10,20	0,64	3,92	6,64	45,99	15,35	17,26	2,20

Таблица 13 - Объем переносимого снега  $W$  (м/м) для Казани.

Скорость ветра, м/с	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00
Сумма	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,72	0,00

Из таблиц 10-13, можно узнать, что в Чебоксарах наибольшее значение объема переносимого снега, чем в других выбранных городах. В Нижнем Новгороде и Казани наименьшие значения объема переносимого снега, так как при всех трех условиях, выборка данных оказалась мала. В Москве за последние 15 лет их вообще не оказалось при нужных нам условиях.

Из рисунка 3.1, можно узнать, что в зимний сезон с 2009 по 2024 года во Владимире наиболее частые и сильные ветра дуют с запада и севера, наименее частые ветра дуют востока с северо-востока, а юго-восточные ветра отсутствуют.

Из рисунка 3.2, можно узнать, что в зимний сезон с 2009 по 2024 года в Нижнем Новгороде наиболее частые ветра дуют с востока.

Из рисунка 3.3, можно узнать, что в зимний сезон с 2009 по 2024 года в Чебоксарах наиболее частые и сильные ветра дуют с юга, наименее частые ветра дуют с северо-востока.

Из рисунка 3.4, можно узнать, что в зимний сезон с 2009 по 2024 года в Казани наиболее частые ветра дуют с запада.

### **Снегопринос.**

Так как скоростную федеральную автомобильную дорогу М-12 «Восток» собираются продлевать Екатеринбург и Тюмени (рис. 3.5), то рекомендуется выполнять расчеты объемов снегоприноса в эти направления дороги, так как будут производиться изыскания с целью разработки проекта мероприятий. Это комплекс мероприятий, направленных на сбор, анализ и оценку данных, необходимых

для принятия обоснованных решений и разработки эффективных мероприятий по проектированию, строительству, реконструкции, ремонту и содержанию автомобильных дорог. Эти изыскания позволяют выявить проблемы, оценить риски и предложить оптимальные решения для улучшения транспортной инфраструктуры.

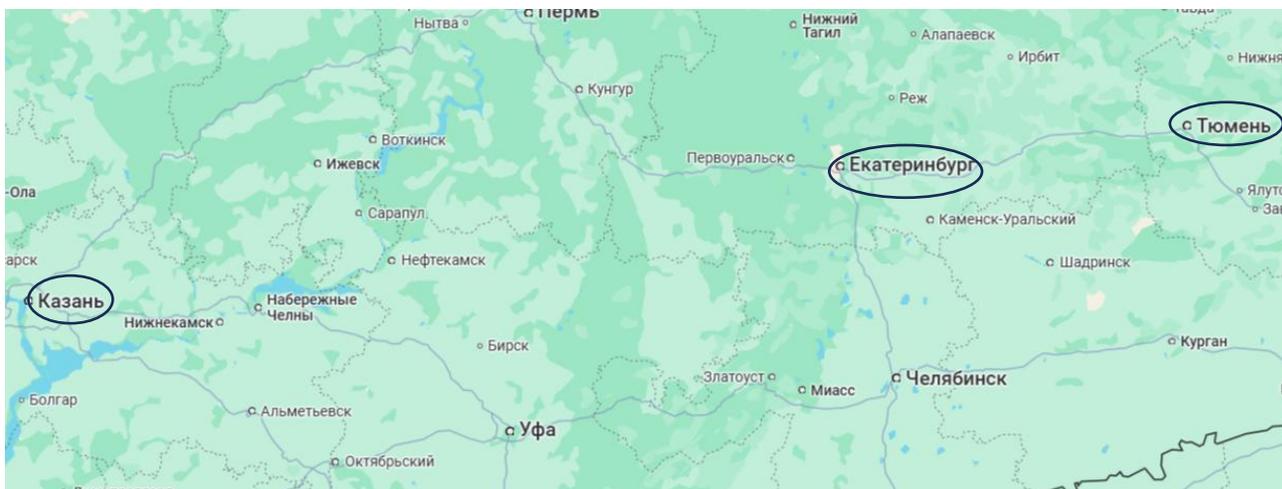


Рисунок 3.5 – Продление трассы М-12 «Восток»

Снегопринос- объем снега, приносимого метелью к одной какой- либо стороне дороги.

Расчетные объемы снегоприноса по направлениям ветра за каждый сезон  $\sum W$  определяются суммированием снегопереноса ( $W$ ) при всех скоростях метелевого ветра данного направления.

Они служат основой для вычисления объемов снегоприноса с каждой стороны участка автомобильной дороги, которые представляют собой геометрическую сумму расчетных объемов снегопереноса по всем румбам, относящихся к определенной стороне дороги данного направления. При изменении направления дороги на обратное, левая и правая стороны дороги меняются местами.

Для участка дороги с направлением Ю—С объем снегоприноса с левой стороны дороги выражается уравнением [8, 9]:

$$\sum W_{Ю-С(л)} = w_{ЮВ} \sin a_1 + w_{В} \sin a_2 + w_{СВ} \sin a_1 \quad (4)$$

С правой:

$$\sum w_{Ю-С(п)} = w_{СЗ} \sin a_1 + w_З \sin a_2 + w_{ЮЗ} \sin a_1 \quad (5)$$

где  $a$  – угол подхода метелевых ветров к линии автомобильной дороги.

Для участка дороги с направлением З—В объем снегоприноса с левой стороны дороги выражается уравнением:

$$\sum w_{З-В(л)} = w_{СВ} \sin a_1 + w_С \sin a_2 + w_{СЗ} \sin a_1 \quad (6)$$

С правой:

$$\sum w_{З-В(п)} = w_{ЮВ} \sin a_1 + w_{Ю} \sin a_2 + w_{ЮЗ} \sin a_1 \quad (7)$$

Рассчитаем снегопринос для города Казань, так как от нее будут продолжать строительство в сторону Екатеринбурга, для участка дороги с направлением Ю - С,  $a_1$  возьмем равным  $45^\circ$  ( $\sin 45^\circ=0,71$ ),  $a_2$  возьмем равным  $90^\circ$  ( $\sin 90^\circ=1$ ), с левой стороны:

$$\sum w_{Ю-С(л)} = 0 + 0 + 0 = 0$$

С правой:

$$\sum w_{Ю-С(п)} = 0 + 0,72 * 1 + 0 = 0,72$$

Для участка дороги с направлением З—В с левой стороны:

$$\sum w_{З-В(л)} = 0 + 0 + 0 = 0$$

С правой:

$$\sum w_{З-В(п)} = 0 + 0,48 * 1 + 0 = 0,48$$

Из расчетов можно сделать вывод что с направлений Ю-С и З-В только по правым сторонам будет приноситься объем снега метелью.

### 3.2 Объем стока

Объем стока воды - это количество воды, стекающей с поверхности дорог, обочин, разделительных полос и других элементов дорожной инфраструктуры. Большое количество воды может привести к аквапланированию, то есть потере сцепления шин с дорогой, что резко снижает управляемость транспортных средств, к образованию наледи в зимний период и к разрушению асфальта.

Объем стока можно рассчитать по формуле [8, 9]:

$$Q = P * A * C \quad (8)$$

где Q — объем стока (м<sup>3</sup>);

P — количество осадков (мм);

A — площадь дорожного покрытия (м<sup>2</sup>);

C — коэффициент стока.

Коэффициент стока C равен для поверхности: асфальт, бетон: 0,7 - 0,95.

Площадь дорожного покрытия = 811км (811 000 м)\* 4 (количество полос движения)\*3,75 м (ширина полосы) = 12 165 000 м<sup>2</sup>

Таблица 14 - Среднее количество осадков за июль в период с 2014 по 2024 год

Москва	94,09
Владимир	80,09
Нижний Новгород	98,64
Чебоксары	71,27
Казань	66,18
Среднее значение	82,05

$$Q = 82 * 12\,165\,000 * 0,8 = 798\,024\,000 \text{ м}^3$$

Итого в месяце в котором выпадает наибольшее количество осадков (июль) объем стока составляет 798 024 000 м<sup>3</sup> на протяжении всей трассы М-12 «Восток», значит на протяжении всей дороги должны быть водоотводные системы, которые смогут убирать воду в таком количестве.

### 3.3 Горизонтальная дальность видимости

Горизонтальная дальность видимости на дороге — это максимальное расстояние, на котором водитель может увидеть препятствие, другого участника дорожного движения или дорожный знак, находящиеся на одном уровне с его глазами, при движении по горизонтальной кривой. Это критически важный параметр для обеспечения безопасности дорожного движения.

В правилах дорожного движения (ПДД) есть такой термин, как недостаточная видимость — это видимость дороги менее 300 метров в условиях, которые ухудшают обзор. Этими условиями могут быть: туман, метель, дождь, снег и так далее. Поэтому в таблицах 15-19 были собраны явления погоды для каждого города, которые ухудшают горизонтальную дальность видимости с ее значениями.

Таблица 15 – Явления, ухудшающие горизонтальную дальность видимости в городе Москва за период с 2014 по 2024

Явление погоды	Горизонтальная дальность видимости, км
Снег непрерывный слабый	6-7
Снег непрерывный умеренный	1,2-2,6
Снег непрерывный сильный	0,4 -1,2
Ливневой дождь	7
Дымка.	3-9
Дождь замерзающий слабый	8
Ливневый снег слабый	9
Ливневый снег умеренный или сильный	0,4 -3,6
Дождь (незамерзающий) неливневый.	6
Снег неливневый.	6
Ливневый(ые) дождь(и) умеренный(ые) или сильный(ые)	1,8
Ливневый(ые) дождь(и) слабый(ые)	7-9
Мгла	5-9
Туман или ледяной туман.	0,2-1
Ледяная крупа.	2-4
Умеренный или сильный дождь	1-2

Таблица 16 – Явления, ухудшающие горизонтальную дальность видимости в городе Владимир за период с 2014 по 2024

Явление погоды	Горизонтальная дальность видимости, км
Снег непрерывный слабый	2-4
Снег непрерывный умеренный	1-2
Снег непрерывный сильный	0,4 -1,2
Дымка	4
Дождь замерзающий слабый.	4
Снег неливневый.	4
Туман или ледяной туман Туман с отложением изморози	0,5
Ливневый снег или ливневый дождь и снег.	Менее 0,05 (50 м)
Ливневый(ые) дождь(и) слабый(ые)	4
Ливневый(ые) дождь(и).	3-4
Дождь незамерзающий непрерывный слабый	4
Морось (незамерзающая) или снежные зерна неливневые.	2
Морось незамерзающая непрерывная слабая	2
Мгла	4

Таблица 17 – Явления, ухудшающие горизонтальную дальность видимости в городе Нижний Новгород за период с 2014 по 2024

Явление погоды	Горизонтальная дальность видимости, км
Снег непрерывный слабый	4-8
Снег непрерывный умеренный	2-4
Снег непрерывный сильный	1,5-2,5
Дымка	2,5-9
Дождь замерзающий слабый.	4
Снег неливневый.	5
Туман или ледяной туман Туман с отложением изморози	0,3-1
Ливневый(ые) дождь(и) со снегом умеренный(ые) или сильный(ые)	0,6
Ливневый(ые) дождь(и) слабый(ые)	5
Ливневый(ые) дождь(и).	4-9
Дождь незамерзающий непрерывный слабый	7
Умеренный или сильный дождь	1-2

Морось незамерзающая непрерывная слабая	6
Мгла	5-9
Ливневая снежная крупа или небольшой град с дождем, или дождь со снегом слабые	4,6
Ледяная крупа.	1

Таблица 18 – Явления, ухудшающие горизонтальную дальность видимости в городе Чебоксары за период с 2014 по 2024

Явление погоды	Горизонтальная дальность видимости, км
Снег непрерывный слабый	4
Снег непрерывный умеренный	1-2
Снег непрерывный сильный	1-2
Дымка	2-4
Дождь замерзающий слабый.	4
Снег неливневый.	4
Туман или ледяной туман Туман с отложением изморози	0,2 -0,5
Ливневый снег или ливневый дождь и снег.	1-4
Ливневый(ые) дождь(и) слабый(ые)	4
Ливневый(ые) дождь(и).	4
Дождь незамерзающий непрерывный слабый	4
Умеренный или сильный дождь	2
Морось замерзающая умеренная или сильная.	2
Ливневый снег умеренный или сильный	2
Ливневый снег слабый	3

Таблица 19 – Явления, ухудшающие горизонтальную дальность видимости в городе Казань за период с 2014 по 2024

Явление погоды	Горизонтальная дальность видимости, км
Снег непрерывный слабый	4
Снег непрерывный умеренный	2
Снег непрерывный сильный	1
Сильная снежная низовая метель в целом высокая (выше уровня глаз наблюдателя)	0,5-4

Дождь или морось со снегом умеренные или сильные.	2
Дымка.	4

В ясную погоду видимость обычно остаётся удовлетворительной, что позволяет водителю своевременно обнаруживать объекты на дороге. Однако, согласно таблицам 15-19 более серьёзную угрозу представляет туман, сильная низовая метель и ливневой дождь со снегом ухудшающие видимость. Следовательно, для обеспечения безопасности дорожного движения необходимо учитывать как теоретические значения, так и фактические условия, складывающиеся на дороге.

## Заключение

В рамках данной выпускной квалификационной работы был проведён всесторонний анализ влияния погодно-климатических факторов на функционирование автотранспортной отрасли, на примере скоростной автомобильной дороги М-12 «Восток». Актуальность исследования обусловлена наблюдаемыми изменениями климата, проявляющимися в учащении экстремальных погодных явлений, таких как КНЯ, град, сильный ветер, резкие изменения температуры и ее аномальные значения. Исследование опиралось на анализ физико-географических характеристик регионов, через которые проходит трасса, их климатических особенностей, таких как температурный режим, режим осадков и высота снежного покрова, режим ветра и режим опасных явлений. Это позволило выявить ключевые факторы, влияющие на эффективность работы автотранспортной системы.

Результаты анализа свидетельствуют о существенном влиянии климатических и метеорологических факторов на техническое состояние транспортных средств и дорожной инфраструктуры. В частности, низкие температуры способствуют образованию гололёда и обледенению дорожного покрытия, что в свою очередь уменьшает сцепление с дорогой и повышает риск дорожно-транспортных происшествий. Высокие температуры, в свою очередь, ускоряют износ дорожного полотна, деформируясь под нагрузкой автомобилей, и увеличивают вероятность возникновения аварийных ситуаций, связанных с перегревом транспортных средств. В тоже время осадки могут навредить автодорожной отрасли, разрушая асфальт, размывая обочины и откосы, а для водителей предоставлять угрозу в виде плохой видимости, аквапланировании и низком сцеплении шин с дорогой.

Была найдена закономерность количества осадков и зарегистрированных ДТП. Количество ДТП растёт, с увеличением количества осадков.

Анализ показал, что трасса М-12, являясь современной скоростной автомагистралью, требует применения передовых технологий для обеспечения

безопасности и эффективности дорожного движения. Внедрение автоматизированных метеостанций, систем раннего оповещения, современных средств снегоочистки и борьбы с гололёдом, а также разработка эффективных систем управления дорожным движением являются приоритетными направлениями развития. Особое внимание следует уделять интеграции метеорологических данных с системами управления дорожным движением, что позволит оперативно реагировать на изменения погодных условий и информировать водителей о возможных опасностях.

В заключение следует отметить, что данная работа демонстрирует исключительную важность комплексного погодно-климатического подхода к управлению автотранспортной отраслью. Только системный учёт метеорологических факторов позволяет гарантировать безопасность всех участников дорожного движения, повысить эффективность транспортных операций и заложить основы для устойчивого развития транспортной инфраструктуры регионов в долгосрочной перспективе.

## Список литературы

1. Автомагистраль М-12 Москва — Нижний Новгород — Казань — Екатеринбург [Электронный ресурс] / Государственная компания «Автодор». — Режим доступа: URL: <https://avtodor-tr.ru/road/m-12/> (дата обращения: 15.04.2025).
2. ГОСТ Р 52289-2004. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения [Текст] / п. 5.1. — М.: Стандартинформ, 2004. — 120 с. Режим доступа: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200038798>
3. ОДМ 218.5.001-2008. Методические рекомендации по защите и очистке автомобильных дорог от снега [Электронный ресурс] / Федеральное дорожное агентство (РОСАВТОДОР). — Москва, 2008. — Режим доступа: URL: <https://rosavtodor.gov.ru/storage/app/media/uploaded-files/odm-2185001-2008.pdf> (дата обращения: 15.04.2025).
4. Самодурова, Т. В. Метеорологическое обеспечение зимнего содержания автомобильных дорог / Т. В. Самодурова. — Москва : ТИМР, 2003. — 183 с.
5. Климат Москвы [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate.php?id=27581> (дата обращения: 03.05.2025).
6. Архив погоды в Москве (ВДНХ) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: [https://rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Москве\\_\(ВДНХ\)](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Москве_(ВДНХ)) (дата обращения: 04.05.2025).
7. Опасные гидрометеорологические явления [Электронный ресурс] / Росгидромет. — Режим доступа: URL: <http://meteo.ru/data/adverse-weather-conditions/> (дата обращения: 03.05.2025).
8. Кобышева, Н. В. Методические рекомендации по расчету специализированных климатических характеристик для обслуживания различных отраслей экономики / Н. В. Кобышева, М. В. Ключева, Е. А. Акентьева и др. — Санкт-Петербург : Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова (ГГО), 2017. — 160 с.

9. Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами / под ред. Н. В. Кобышевой. – Санкт-Петербург, 2008. – 336 с. Авторы: Кобышева Н. В., Стадник В. В., Ключева М. В., Пигольцина Г. Б., Акентьева Е. М., Галюк Л. П., Разова Е. Н., Семенов Ю. А.
10. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации в 2023 году. Информационно-аналитический обзор [Текст] / Рекоменд. к публ. ред.-изд. советом ФКУ «Научный центр БДД МВД России»; авт. кол.: К.С. Баканов [и др.]; под общ. ред. Д.В. Митрошина, С.А. Рыжова; рецензенты: В.С. Ивлев, А.С. Князев. – М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2024. – 154 с. Режим доступа: URL: <https://opiscdn.tinkoffjournal.ru/mercury/5767457.pdf>
11. Лосев А.П. Сборник задач и вопросов по агрометеорологии: Учебно.пособие. – М.: ИНФРА-М, 2020. – 170 с. Режим доступа: <https://znanium.ru/read?id=346901>
12. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. Режим доступа: <http://meteo.ru/data/>
13. Учебно-методическое пособие по выполнению практических и расчётно-графических работ по дисциплине «Прикладная климатология» / Сост.: В.Н. Абанников, И.Н. Ааед Мханна, Э.В. Подгайский. – Санкт-Петербург: Изд-во «Ниц Арт», 2022. – 80 с. DOI: **10.51623/907478756\_22**