

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 Анализ специализированных климатических показателей для
строительной отрасли

Исполнитель Филиппова Екатерина Дмитриевна
(фамилия, имя, отчество)

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

Абанников Виктор Николаевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
И.О.Заведующий кафедрой


(подпись)

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

Дробжева Яна Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«23» 06. 2025г.

Санкт-Петербург
2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ	5
1.1 Физико-географическое описание и климатические особенности региона	5
1.2 Актуальность климатических факторов в современном строительстве	8
1.3 Основные метеорологические факторы, влияющие на строительство и эксплуатацию зданий	11
1.4 Специфика влияния метеорологических нагрузок на сооружения	15
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ РЕЖИМА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ	20
2.1 Оценка светового и радиационного режима	20
2.2 Анализ температурных характеристик воздуха и почвы	23
2.3 Анализ режима ветра и осадков	30
ГЛАВА 3. РАСЧЕТ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ	39
3.1 Оценка роли солнечной радиации в обеспечении теплового баланса зданий	39
3.2 Расчет специализированных температурных характеристик в строительной отрасли	46
3.3 Оценка параметров метеорологической нагрузки на сооружения	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	54
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	55
Приложения	57

ВВЕДЕНИЕ

Каждый день люди окружены зданиями – дома, школы, магазины, офисы, больницы. Мало кто задумывается о том, сколько труда и знаний вложено в их создание. Однако именно строительство определяет облик наших городов и качество жизни в них. Строительная отрасль играет ведущую роль в развитии экономики и общества. Ежедневно возводятся новые здания, реконструируются старые, и от качества этих работ зависит комфорт и безопасность миллионов людей. Именно поэтому в условиях меняющегося климата и растущих требований к энергоэффективности сооружений, важно уделять должное внимание влиянию метеорологических факторов при проектировании и строительстве.

Современное проектирование зданий всё чаще основывается на принципе адаптации к конкретным климатическим условиям, поскольку именно это определяет долговечность конструкций и эффективность их эксплуатации. При выборе конструктивных решений учитываются такие параметры, как угол наклона крыши, толщина и тип используемых материалов для стен, а также площадь оконных проёмов — все они подбираются с учетом характерных особенностей климата региона.

Не менее важным является влияние климатических факторов на проектирование систем жизнеобеспечения здания — в частности, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Современные технологии направлены не только на защиту внутренних помещений от неблагоприятных внешних условий, но и на создание устойчивого микроклимата при минимальном расходе энергии. Это связано с тем, что внешние воздействия могут снижать энергоэффективность зданий, если не учтены на стадии проектирования. В условиях глобального изменения климата и роста экологических требований к зданиям комплексный подход к учету

климатических условий становится не просто желательным, а необходимым элементом современного строительства.

Целью выпускной работы является оценка метеорологических и климатических условий, влияющих на строительные объекты и расчет специализированных климатических показателей для обеспечения строительной отрасли.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Определить актуальность гидрометеорологического обеспечения строительной отрасли;
- Проанализировать режим метеорологических характеристик используемых в строительной отрасли (светового и радиационного режима, анализ температурных характеристик воздуха и почвы, режима ветра и осадков).
- Рассчитать климатические характеристики для обеспечения строительной отрасли специализированной информацией необходимой для проектирования и эксплуатации строительных объектов в г. Санкт-Петербург.

Объект исследования — Строительная отрасль Санкт-Петербурга.

Предмет исследования — строительная метеорология и климатология.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения.

ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

1.1 Физико-географическое описание и климатические особенности региона

Ленинградская область (рис. 1.1), расположенная на северо-западе европейской части России, играет ключевую роль в системе международных коммуникаций страны. Её геополитическое положение на пересечении акватории Балтийского моря, границ Скандинавских государств и Восточной Европы обеспечивает региону статус стратегического центра развития торгово-экономического и культурного сотрудничества с европейскими странами. Более того, расположение области делает её важным узлом и для межрегиональных связей: она граничит с Республикой Карелия (северо-восток), Вологодской (восток), Новгородской (юго-восток) и Псковской (юг) областями, способствуя развитию экономических и историко-культурных взаимодействий на северо-западе России.

Площадь территории региона составляет 83 тыс. км². Численность населения Ленинградской области достигает 2 млн человек, при этом наблюдается неравномерное распределение жителей. Особый демографический контраст формирует Санкт-Петербург, при площади 1 400 км² в нём проживает около 5,5 млн человек, что почти вдвое превышает население всей Ленинградской области.



Рисунок 1.1 — Карта Ленинградской области

Санкт-Петербург по праву называют “Северной Венецией”: его водная сеть включает около 90 рек, протоков, рукавов и каналов, общая протяженность которых составляет 282 километра, занимая почти седьмую часть городской территории. Центральное место в этой водной системе занимает могучая река Нева, впадающая в Невскую губу Финского залива Балтийского моря. Благодаря такому обилию водных артерий, город не только приобрел свой неповторимый архитектурный облик, но и стал важным морским портом, соединяющим Россию со странами Европы через Балтийское море, что сыграло ключевую роль в его историческом развитии и современном значении.

Климат Ленинградской области представляет собой уникальное сочетание океанических и континентальных черт, где мягкие зимы плавно сменяются теплым летним периодом. Главная климатическая особенность региона заключается в его непредсказуемости, вызванной постоянным взаимодействием различных типов воздушных потоков.

Западные и юго-западные ветры приносят с моря влажные воздушные массы, которые создают пасмурную и ветреную погоду с частыми осадками. Именно эти потоки становятся причиной неожиданных оттепелей в зимний

период и умеренных температур летом. Континентальный воздух, вторгающийся с восточных и южных направлений, формирует контрастную погоду: знойное лето и стужу зимой. При этом арктические воздушные массы, поступающие с северо-востока, создают резкий температурный перепад, способный вызвать как летние заморозки, так и экстремальные морозы в зимний период.

Зима в Ленинградской области длится с ноября по март, характерна резким понижением температуры и осадками в виде снега. Январь — самый холодный месяц, с температурами от -5°C до -10°C , но возможны и морозы до -25°C и -30°C на севере. Зимние месяцы также ветреные, с порывами до 15-20 м/с. Снежный покров достигает 20-50 см.

Весна характеризуется повышением температуры и таянием снега. Март холодный (около 0°C), в апреле температура повышается до $+4^{\circ}\text{C}$ — $+7^{\circ}\text{C}$, а в мае достигает $+10^{\circ}\text{C}$ — $+15^{\circ}\text{C}$. Весной наблюдается высокая влажность и частые дожди.

Летний период в Ленинградской области характеризуется теплом и высокой влажностью. Средняя температура в июне составляет $+15^{\circ}\text{C}$ - $+20^{\circ}\text{C}$, а в июле и августе может подниматься до $+25^{\circ}\text{C}$ и выше. Высокая влажность делает атмосферу более жаркой. Лето также приносит обильные осадки, особенно в виде краткосрочных ливней и гроз.

Осень начинается с теплого сентября ($+10^{\circ}\text{C}$ - $+15^{\circ}\text{C}$), но к октябрю температура падает до $+5^{\circ}\text{C}$ - $+9^{\circ}\text{C}$, а в ноябре может опуститься до 0°C и ниже. Осень приносит резкие изменения погоды, увеличение осадков и частые туманы с сильными ветрами.

Из вышесказанного следует, что климатические условия региона определяются влиянием воздушных потоков атлантического происхождения и близостью акватории Балтики, что формирует специфические погодные режимы: зимы с периодическим таянием снега, повышенную влажность в летний период, динамичные изменения погодных условий, типичные для северо-западной территорий страны.

1.2 Актуальность климатических факторов в современном строительстве

При выборе места под строительство климатические условия, как правило, не являются определяющим фактором. Однако их учет на стадии проектирования играет ключевую роль в обеспечении экономической эффективности, энергосбережения и долговечности сооружений. Грамотное планирование позволяет снизить затраты как на этапе возведения, так и при дальнейшей эксплуатации зданий.

Современные технологии проектирования позволяют заранее оценивать климатические параметры региона, использовать их преимущества и минимизировать влияние неблагоприятных условий. Например, в районах с сильными ветрами усиливается ветрозащита, а в солнечных регионах разрабатываются эффективные системы теплозащиты и кондиционирования воздуха. Также важным является выбор подходящих материалов и конструктивных решений, соответствующих местным климатическим особенностям.

Одной из главных задач градостроительства является создание комфортной среды проживания. Учитывая, что значительная часть жизни человека протекает в помещениях, внимание уделяется не только физическому комфорту, но и психологическому благополучию жителей. При реализации проектов применяется комплексный подход — от уровня отдельного помещения до масштаба микрорайона, что способствует улучшению качества городской среды и повышению уровня жизни населения.

За последние десятилетия ученые всего мира сформировали единую позицию относительно значительных трансформаций климатических условий на Земле. Это выражается в росте среднегодовых температур у земной поверхности, сдвигах в распределении осадков и изменениях водного режима. Подобные климатические изменения затрагивают многие аспекты человеческой деятельности, в том числе строительство.

Российская Федерация, как и весь мир, демонстрирует ускоренное потепление климата. Темпы роста среднегодовых температур в нашей стране в 2.5–3 раза выше глобальных значений, что подтверждается многолетними наблюдениями Росгидромета. Средняя скорость роста среднегодовой температуры воздуха на территории России в 1976-2019 гг. составила по данным ФГБУ «ИГКЭ» $0.47^{\circ}\text{C}/10$ лет. Это более чем в два с половиной раза больше скорости роста глобальной температуры за тот же период: $0.18^{\circ}\text{C}/10$ лет, и более чем в полтора раза больше средней скорости потепления приземного воздуха над сушей Земного шара: $0.28^{\circ}\text{C}/10$ лет (оценки по данным Центра Хэдли и Университета Восточной Англии). Температура каждого последующего десятилетия с 1980 г. превышала температуру предыдущего. Наиболее быстрыми темпами росла температура Северной полярной области, особенно в последние десятилетия: по данным ФГБУ «ААНИИ» в течение последних тридцати лет (1990-2019 гг.) рост среднегодовой температуры составил здесь $0.81^{\circ}\text{C}/10$ лет, т.е. 2.43°C за 30 лет [3].

Изменение климата имеет индивидуальный характер для каждого региона. За последние несколько десятилетий климат Санкт-Петербурга и Ленинградской области претерпел заметные изменения, характеризующиеся устойчивым потеплением и трансформацией сезонных режимов. Среднегодовая температура в регионе выросла на $1,2\text{--}1,5^{\circ}\text{C}$, что превышает глобальные темпы потепления. Наиболее выраженные сдвиги наблюдаются зимой: средняя температура января повысилась на $2\text{--}3^{\circ}\text{C}$, сократилось количество дней с устойчивым снежным покровом (на 15–20 суток), участились оттепели и дожди в холодный период.

Лето стало более продолжительным, с увеличением числа жарких дней (выше $+25^{\circ}\text{C}$), при этом экстремальные температуры, такие как рекордные $+37,1^{\circ}\text{C}$, фиксируются чаще. Объём осадков вырос на 10–15%, чаще сопровождающиеся грозами, градом и шквалами.

Осенью отмечается затяжной переходный период с мягкими температурами и продолжительными дождями, а весна начинается раньше, с

ускоренным таянием снега. Климатические изменения распределены неравномерно: прибрежные зоны Финского залива и Ладожского озера демонстрируют более резкие колебания, тогда как континентальные районы остаются относительно стабильными.

Прогнозируется сохранение тенденции к росту температур, учащению экстремальных явлений (ранние заморозки, штормовые ветра) и дальнейшей трансформации режима осадков, что создает вызовы для всех отраслей экономики включая строительную.

Санкт-Петербург, как мегаполис глобального масштаба, демонстрирует выраженную связь между урбанизацией и климатическими параметрами. Увеличение масштабов промышленного производства в сочетании с разветвленной транспортной инфраструктурой формирует устойчивый тренд к трансформации годовой динамики температурных аномалий и сокращение длительности холодного сезона — ключевого индикатора экологического влияния человека на природные системы.

В современных условиях адаптация к изменениям климата становится одним из ключевых направлений развития строительной отрасли. Процесс приспособления зданий и сооружений к меняющимся погодным условиям требует комплексного подхода и внедрения инновационных технологий на всех этапах строительства.

Современные решения в области климатической адаптации включают: вертикальное озеленение фасадов зданий, позволяющее снизить теплопритоки и улучшить микроклимат; естественное затенение, при котором правильное расположение деревьев вблизи зданий служит для защиты их от солнечных лучей; пассивное солнечное проектирование – ориентация зданий и специальных конструкций для максимального использования солнечной энергии.

Климатические факторы оказывают существенное влияние на:

- Выбор строительных материалов и технологий
- Разработку конструктивных решений

- Проектирование инженерных систем
- Планировку внутренних пространств
- Организацию строительных процессов

Эффективность строительства напрямую зависит от точности климатических прогнозов и корректности их применения в проектной документации. Современные цифровые технологии позволяют создавать детальные климатические модели конкретных участков строительства, что существенно повышает надежность и долговечность возводимых объектов.

1.3 Основные метеорологические факторы, влияющие на строительство и эксплуатацию зданий

Для эффективного выполнения строительных задач критически важно исследовать метеорологические условия местности. При планировании и создании архитектурных объектов необходимо учитывать ветровые нагрузки, интенсивность солнечного излучения и амплитуды температурных колебаний. Эти параметры играют решающую роль в определении оптимальных материалов и конструктивных решений для зданий.

Точность расчётов, связанных с природными воздействиями, напрямую влияет на эксплуатационные характеристики сооружений, включая их структурную целостность и энергетическую эффективность. В этом разделе мы подробно изучим основные метеорологические показатели, влияющие на процесс строительства и последующую эксплуатацию объектов.

Температура воздуха. Температурный режим играет ключевую роль в процессе планирования зданий, поскольку он влияет на выбор конструктивной схемы, расчет устойчивости и надежности элементов конструкции, а также на разработку систем жизнеобеспечения и поддержания комфортного микроклимата внутри помещений. В процессе проектирования происходит анализ климатической картины региона, включая многолетний температурный режим, экстремальные показатели и амплитуду температурных колебаний.

Перепады температур оказывают серьезное негативное воздействие на конструкции здания, особенно при быстрых изменениях и переходах через нулевую отметку. При проектировании важно учитывать не только обычные суточные и сезонные колебания, но и характеристики оттепелей.

При разработке систем отопления необходимо учитывать ряд критически важных температурных параметров зимнего периода, таких как средняя температура за весь отопительный сезон, минимальные средние температуры за наиболее холодные пятидневки, трехдневки и сутки, а также вентиляционную температуру [1].

Отопительный сезон определяется интервалом, когда среднесуточная температура стабильно держится ниже 8°C — именно в это время требуется максимальная производительность отопительных систем. Среднесезонный температурный показатель служит основой для расчетов: он позволяет определить оптимальную мощность оборудования, спрогнозировать тепловую нагрузку и рассчитать объемы энергоресурсов, необходимых для поддержания комфортного микроклимата при минимальных затратах.

Выбор конкретного температурного показателя зависит от массивности строительных конструкций: для тяжелых и массивных стен берут средние значения самых холодных пяти дней, для стен средней толщины — трех дней, а для легких конструкций учитывают температуру самого холодного дня за зиму.

Для определения расчетной температуры в периоды экстремального холода используются следующие формулы: для наиболее холодной пятидневки (1.1) и для самых холодных суток (1.2).

$$t_5 = 1,25t_x - T, \quad (1.1)$$

$$t_l = 1,31t_x - T_l, \quad (1.2)$$

где t_x — средняя температура самого холодного месяца, T и T_l , — эмпирические константы, которые определяются на основе района расположения, представлены в табл. 1 и рис.1 и рис. 2 (см. прилож.).

При расчете используют усредненную температуру t_v для 15% самых холодных дней сезона.

Значение t_v может быть найдено по формуле (1.3).

$$t_v = 1,125t_x - T_2, \quad (1.3)$$

где T_2 — постоянная величина, зависящая от района, значения приведены в табл.2 (см. прилож.).

Температура почвы. Фундамент — основа долговечности любого здания. В современной строительной практике применяются два основных типа фундаментов: ленточный и свайный. Для правильного расчета фундамента нужно изучить грунт, учесть уровень грунтовых вод, климатические условия и особенности здания: его назначение, этажи и подвалы.

Термические свойства почвы, в частности её теплопроводность, определяются составом и уровнем влажности: чем выше влажность, тем сильнее почва промерзает. Почвы под дорожными покрытиями подвержены более глубокому промерзанию по сравнению с территориями, покрытыми растительностью или подвергнутыми рыхлению.

В строительной практике критически важно знать, до какой глубины промерзает грунт, это актуально при создании фундаментных конструкций и прокладке подземных объектов.

Когда температура приближается к нулевым показателям, физико-механические характеристики почвенного слоя способны существенно трансформироваться, что проявляется в их набухании при замерзании и приводит к увеличению нагрузки на подземные конструкции и коммуникации. Учитывая отсутствие постоянного контроля за незащищенными поверхностными слоями грунта, специалисты разработали способ вычисления глубины промерзания, учитывающий суммарное значение отрицательных температур за зимний сезон (1.4):

$$h_n = c\sqrt{|t| + 2}, \quad (1.4)$$

где c — коэффициент, который зависит от состава почвы, $\sum |t|$ — абсолютное значение суммы отрицательных температур. Для глинистых и суглинистых почв коэффициент c — 23, для супесчаных почв — 28, а для песков — 30.

Солнечная радиация. При создании новых архитектурных проектов особое внимание уделяется исследованию воздействия солнечной энергии на здание. Интенсивность солнечного излучения влияет на зонирование помещений и выбор материалов, что позволяет создать энергоэффективную среду с комфортным микроклиматом.

Количество суммарной радиации, которая поступает на вертикальную поверхность за единицу времени Q_v рассчитывается по формуле (1.5):

$$Q_v = S_v + \frac{D_g}{2} + \frac{R_g}{2}, \quad (1.5)$$

где S_v — прямая солнечная радиация, приходящая к вертикальной поверхности, D_g и R_g — рассеянная и отраженная радиация, поступающие на горизонтальную поверхность [1].

Определение величины прямой солнечной радиации, падающей на вертикальную поверхность, осуществляется с использованием специальной формулы (1.6):

$$S_v = S' * \cos h_o * \cos(A_o - A), \quad (1.6)$$

где S' — прямая солнечная радиация на перпендикулярную к лучам солнца площадку, h_o — высота солнца, A_o — азимут солнца (считается положительным при отсчете от точки юга в направлении движения часовой стрелки), A — азимут нормали к стене от Солнца. Так как расчет S_v по формуле (1.6) является достаточно трудоемкой задачей, воспользуемся коэффициентом пересчета K_s , разработанным в ГГО им.А.И.Воейкова (таблица 3, см. прилож.).

Отраженная к стене от земной поверхности радиация определяется следующим образом:

$$R_g = \frac{Q_g * Ak}{100}, \quad (1.7)$$

где Q_g — суммарная радиация, приходящая на горизонтальную поверхность, Ak — альбедо участков, примыкающих к зданию (%). В городской среде

коэффициент отражения солнечной радиации варьируется в зависимости от различных поверхностей, поэтому при расчетах необходимо учитывать весь спектр покрытий дворовых территорий – от асфальтового покрытия до травяного покрова и гравийных дорожек. Значение отражательной способности 20% можно использовать при работе со смешанными поверхностями.

Отраженная радиация, которая направлена к стене находится следующим образом (1.8):

$$R_{\text{в}} = \frac{R_{\text{г}}}{2}, \quad (1.8)$$

где $R_{\text{г}}$ — отраженная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность.

Расчет количества поглощенной радиации для стены $B_{\text{в}}$ выполняется по определенной формуле (1.9):

$$B_{\text{в}} = Q_{\text{в}} * (1 - A_{\text{с}}), \quad (1.9)$$

где $Q_{\text{в}}$ — количество суммарной радиации, которая поступает на вертикальную поверхность за единицу времени, $A_{\text{с}}$ — альбедо стены. Альбедо поверхностей зданий, строительных материалов и некоторых естественных, поверхностей приведены в табл. 4 (см. прилож.).

Для получения количественной оценки температурной поправки за счет лучистой энергии солнца, используется следующая формула (1.10):

$$\Delta t_{\text{с}} = 0,04 B_{\text{в}} - 0,8, \quad (1.10)$$

где $B_{\text{в}}$ — количество радиации, поглощенной стеной.

Результаты вычислений поправок при разных параметрах $B_{\text{в}}$ представлены в таблице 5 (см. прилож.).

1.4 Специфика влияния метеорологических нагрузок на сооружения

Метеорологические нагрузки представляют собой серьезную угрозу для строительных конструкций, существенно сокращая срок их службы и увеличивая риски аварийных ситуаций. Следует отметить, что любые постройки, возвышающиеся над земной поверхностью, подвергаются значительным

ветровым и снеговым нагрузкам, интенсивность которых напрямую зависит от высоты и формы сооружения, что требует особого внимания при их проектировании и строительстве.

Ветровая нагрузка. При возведении зданий, высота которых составляет более 40 метров, обязательным является учет воздействия ветровых нагрузок на конструкцию. На величину ветровой нагрузки оказывают влияние три ключевых фактора: интенсивность движения воздушного потока; физические характеристики атмосферы, включая плотность воздуха, увеличивающуюся при высокой влажности и, как следствие, повышенную энергетическую мощность воздушного потока; а также аэродинамические свойства самого объекта [5].

Статическая ветровая нагрузка, нормальная к поверхности строения рассчитывается по формуле (1.11):

$$Q_m = k(z_e) c_x q, \quad (1.11)$$

где k — коэффициент, который учитывает изменение ветрового давления для соответствующей высоты z_e , значения коэффициента представлены в таблице 6 (см. приложения), c_x — аэродинамический коэффициент, т.е. коэффициент лобового сопротивления сооружения; q — давление ветра на единицу поверхности в $\text{кг}/\text{м}^2$.

Значение ветрового давления определяется по формуле (1.12):

$$q = \frac{V^2}{16}, \quad (1.12)$$

где V — скорость ветра десятиминутного осреднения на высоте 10 м над поверхностью земли.

Величина ветровой нагрузки в различных регионах фиксируется на карте ветровых воздействий (рис. 1.2).

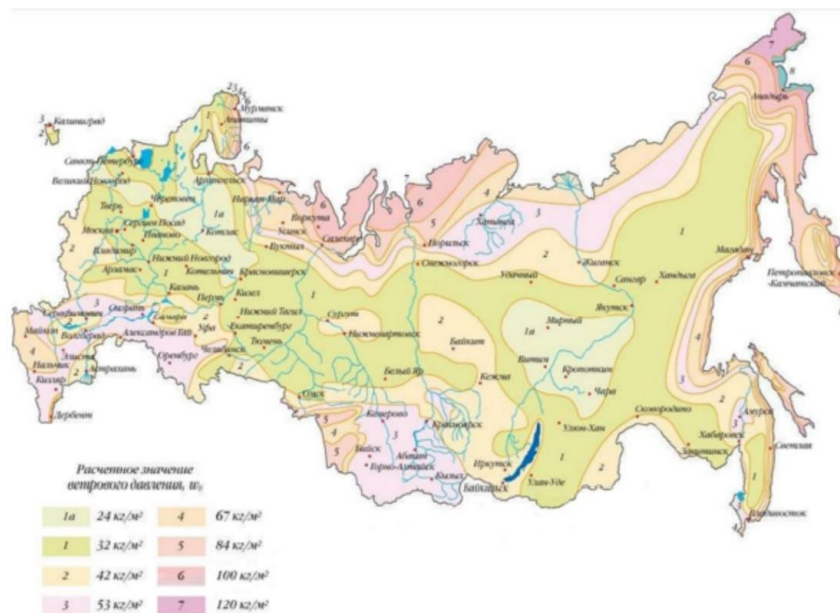


Рисунок 1.2 — Карта ветровых нагрузок России

При проектировании любого здания критически важно правильно рассчитать ветровую нагрузку, которая напрямую зависит от климатических особенностей конкретного региона. Некорректное определение расчетных значений может привести к серьезным последствиям, а именно при занижении параметров существует риск аварийных ситуаций и несчастных случаев. Именно поэтому точность расчета ветровых нагрузок является одним из ключевым фактором при проектировании современных зданий.

Снеговая нагрузка. Снеговая нагрузка на кровлю — один из важнейших параметров при проектировании зданий. Её правильное определение критически важно для безопасности конструкции, особенно в снежных регионах. Нормативная нагрузка рассчитывается как масса снежного покрова на квадратный метр кровли и рассчитывается по формуле (1.13):

$$P_o = pN, \quad (1.13)$$

где p — средняя плотность снега для определенной территории; N — средняя из ежегодных максимальных высот снежного покрова на защищенных участках.

Для расчета конструкции покрытия за расчетную нагрузку P_r принимается формула (1.14):

$$Pr = 1,4P_H, \quad (1.14)$$

Другими словами, при проектировании учитывается, что расчетная нагрузка на 40% превосходит нормативную.

Параметры снеговой нагрузки, включая номер климатического района, определяются по специальной карте распределения снеговых нагрузок (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 — Нормативная нагрузка снега (P_H)

Можно применить иной подход к вычислению указанного параметра (1.15):

$$Pr = \mu P_H, \quad (1.15)$$

где μ – поправочный коэффициент, учитывающий изменение нагрузки при разных углах наклона кровли. От 0° до 25° значение μ принимается равным 1, от 25° до 60° – 0,7, свыше 60° — не учитывается. При фактической эксплуатации, мокрый снег способен накапливаться в больших количествах даже на кровлях с крутым уклоном, многолетний опыт использования показывает, что кровельные конструкции, спроектированные и построенные в соответствии с действующими строительными нормами, демонстрируют высокую степень надежности и крайне редко получают повреждения.

Комплексный учет как снеговых, так и ветровых нагрузок является обязательным условием для создания надежных и безопасных конструкций. Взаимодействие этих двух видов нагрузок создает дополнительное давление на сооружение, которое необходимо учитывать при проектировании. Особенно важно правильно определить район строительства по картам снеговой и ветровой нагрузки, так как в разных регионах России эти показатели существенно различаются. Только при грамотном расчете обоих видов нагрузок можно гарантировать долговечность и устойчивость конструкции к воздействию природных факторов.

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ РЕЖИМА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

2.1 Оценка светового и радиационного режима

В процессе проектирования и эксплуатации зданий особое внимание уделяется различным аспектам солнечной активности, где определяющими факторами выступают: продолжительность солнечного сияния и солнечная энергия в широком диапазоне излучений.

Данные природные характеристики оказывают существенное влияние на создание оптимальных условий в помещениях. Они определяют не только необходимый уровень естественной освещенности в жилых и производственных пространствах, но и обеспечивают требуемую дозу ультрафиолетового излучения, критически важную для здоровья человека.

В Ленинградской области годовое число часов солнечного сияния изменяется по территории от 1600 до 1900. Наибольшая продолжительность солнечного сияния (более 1800) наблюдается на побережье и островах Ладожского озера, а также на островах Финского залива благодаря уменьшению облачности в тёплое время года и повышенной прозрачности атмосферы в этих районах (рис. 2.1). В условиях большого города (Санкт-Петербург) число часов солнечного сияния уменьшается за счёт большой запыленности атмосферы [8].

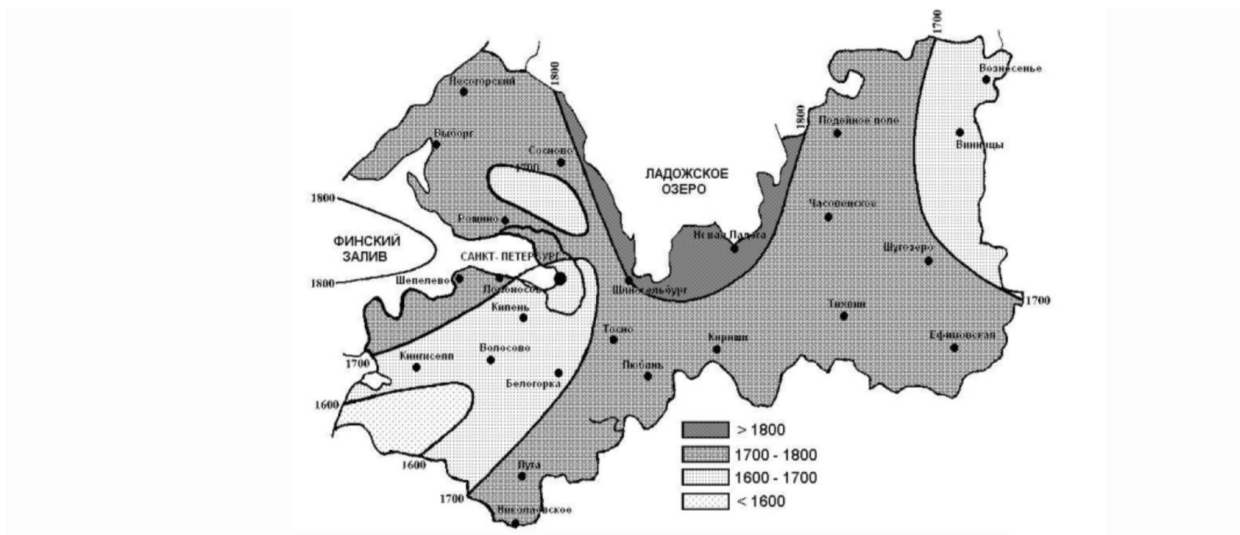


Рисунок 2.1 — Продолжительность солнечного сияния (часы) в год на территории Ленинградской области.

Атмосферная динамика и порождаемые ею облачные образования приводят к значительным отклонениям реальных параметров солнечной радиации от климатически установленных эталонов. Подобная изменчивость обусловлена не только сезонными колебаниями облачности, но и частыми циклонами, характерными для региона, что существенно влияет на распределение солнечной радиации. В летний сезон стандартное отклонение месячных значений солнечного сияния составляет 40-55 часов. В зимний период данный показатель варьируется в пределах 10-20 часов. Годовой объем солнечного сияния характеризуется стандартным отклонением 120-170 часов

Крупные мегаполисы, такие как Санкт-Петербург, являются островами тепла, поэтому для сравнительного анализа возьмем еще сведения города Тихвин. На основе представленных данных о продолжительности солнечного сияния в Санкт-Петербурге (рис. 2.2) и Тихвине (рис. 2.3) можно сделать вывод, что города характеризуются ярко выраженной сезонностью в распределении солнечной радиации: летние месяцы отличаются максимальной инсоляцией (279-293 и 305-286 часов). Холодный сезон отличается минимальными показателями солнечной активности, где продолжительность инсоляции варьируется в пределах 10-19 и 41-16 часов, что соответствует лишь 3-10% от

теоретически возможного уровня. Согласно графикам, годовая суммарная продолжительность солнечного сияния в Тихвине (1754 часа) превышает аналогичный параметр Санкт-Петербурга (1678 часов). Для региона типична выраженная сезонная динамика: устойчивый рост продолжительности инсоляции с начала весны до пика летнего солнцестояния с последующим снижением в осенне-зимние месяцы, что отражает климатические особенности территории.

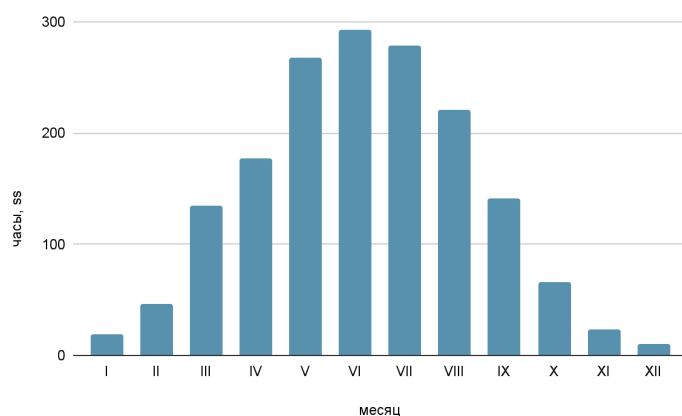


Рисунок 2.2 — Динамика среднемесячных показателей солнечного сияния (ss) для Санкт-Петербурга

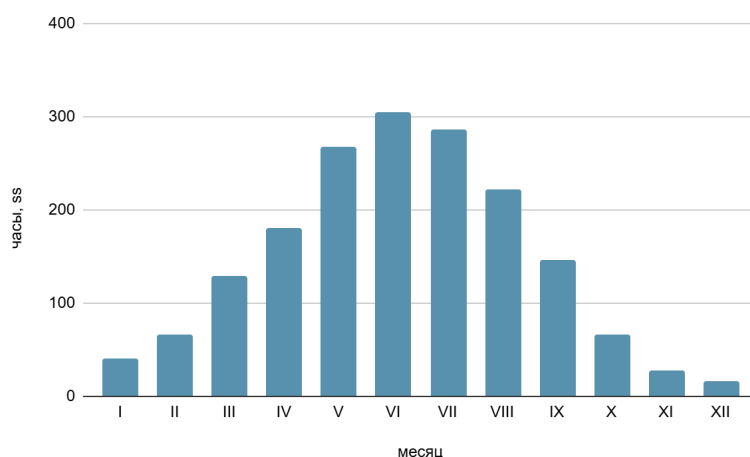


Рисунок 2.3 — Динамика среднемесячных показателей солнечного сияния (ss) для Тихвина

Солнечные лучи оказывают благотворное влияние на организм человека и обладает выраженным обеззараживающим эффектом. В целях максимального использования этих природных факторов санитарные нормативы предусматривают строго регламентированное время ежедневного пребывания помещений и территорий под прямым солнечным излучением в различные сезоны года. Нормы солнечного освещения установлены для разных периодов года в зависимости от расположения (см. таблицу 3 в приложении). Для Ленинградской области (60° северной широты) минимальная продолжительность солнечного света должна быть не менее 2,5 часов в день — с 22 апреля по 22 августа.

Отражение и поглощение солнечной энергии материалами — критический параметр при создании зданий. Расчет радиационной нагрузки: прямой, рассеянной, суммарной; на элементы конструкций позволяет оптимизировать энергоэффективность и долговечность.

2.2 Анализ температурных характеристик воздуха и почвы

Температурный режим представляет собой один из основных климатических факторов, оказывающий комплексное воздействие на строительную отрасль, организацию производственных процессов, а также на здоровье и жизнедеятельность человека. Температурным режим — это многолетнее изменение температуры воздуха в течение суток, месяца, сезона и года, а также его пространственное распределение. Наряду с радиационным режимом, температурные условия определяют особенности формирования теплового баланса, прочностных характеристик материалов, степени термической деформации строительных конструкций, а также режимов эксплуатации зданий и сооружений [10].

Климатические показатели температуры воздуха и почвы, являются неотъемлемым фактором при планировании и возведении объектов различного назначения.

Ниже представлен график (рис 2.4) средних температур за год в Санкт-Петербурге и Тихвине. Для наблюдения был выбран временной промежуток с 1991 года по 2020 год.

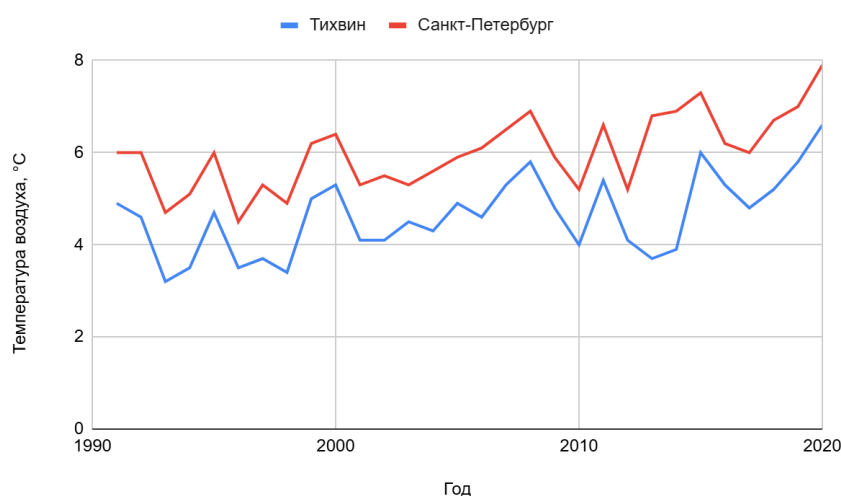


Рисунок 2.4 – Средняя температура воздуха (°C) в Санкт-Петербурге и Тихвине

График демонстрирует рост температурных показателей в каждом из городов. За рассматриваемый период температура увеличилась больше, чем на 1°C. Также графики ярко отражают влияние географического положения на температуру воздуха. Климат Тихвина холоднее, чем в Санкт-Петербурге: разница зимних температур составляет 2-2,5°C, а летних - около 1,2°C. Санкт-Петербург демонстрирует более мягкий климат в течение всего года, и более высокие температуры, что характерно для островов тепла.

На рисунках 2.5 и 2.6 отображена и сопоставлена сезонная динамика среднемесячных температур за исследуемый период с многолетними климатическими нормами [11].

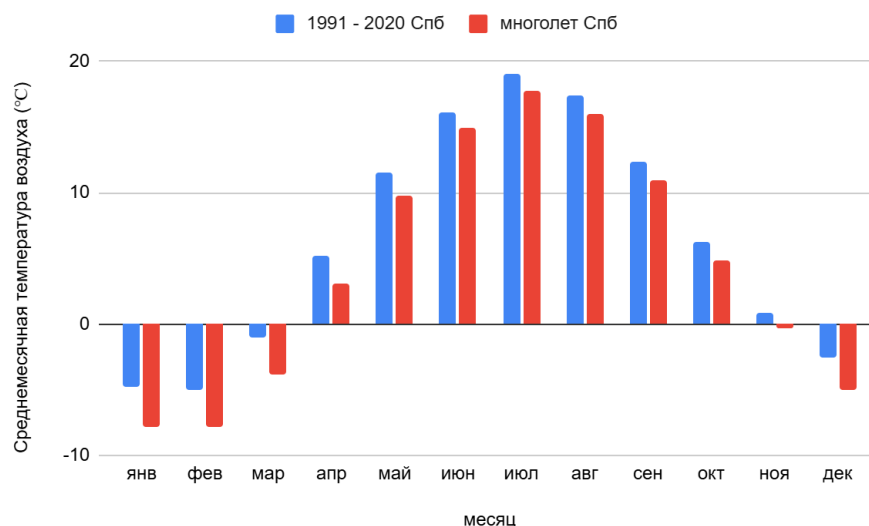


Рисунок 2.5 – Изменения среднемесячных температур (°C) в Санкт-Петербурге за исследуемый и многолетний периоды

Можно заметить, что за исследуемый период в Санкт-Петербурге зафиксировано значительное потепление по сравнению с многолетними данными: в зимние месяцы повышение температуры на 2.5-3°C, летние на 1.1-1.4°C, наиболее существенное повышение температуры наблюдается в январе +3°C.

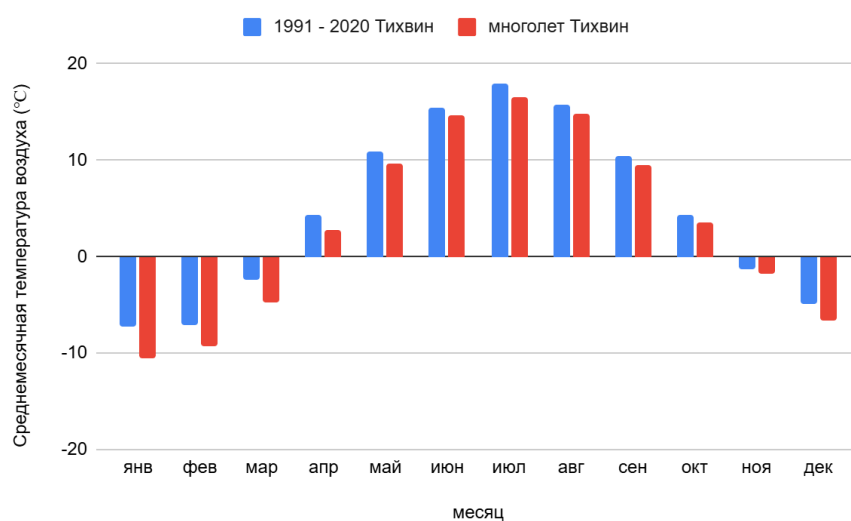


Рисунок 2.6 – Изменения среднемесячных температур (°C) в Тихвине за исследуемый и многолетний периоды

За период 1991-2020 годов в Тихвине также наблюдается заметное потепление по сравнению с многолетними данными: зимой на 2.2-3.2°C, весной и осенью на 1.5-1.9°C, в летние месяцы - на 0.9-1.3°C, при этом наиболее существенное повышение температуры наблюдается в январе +3.2°C и феврале +2.2°C.

На графиках показан ход температур января и июля за исследуемый период для Санкт-Петербурга (рис 2.7) и Тихвина (рис. 2.8). В обоих городах наблюдается значительная температурная изменчивость: зимние месяцы демонстрируют более выраженные колебания от -11,2°C до +1,5°C в Санкт-Петербурге и от -15,8°C до -0,4°C в Тихвине, летние месяцы характеризуются большей стабильностью. Также прослеживается общая тенденция к потеплению, особенно заметная зимой.

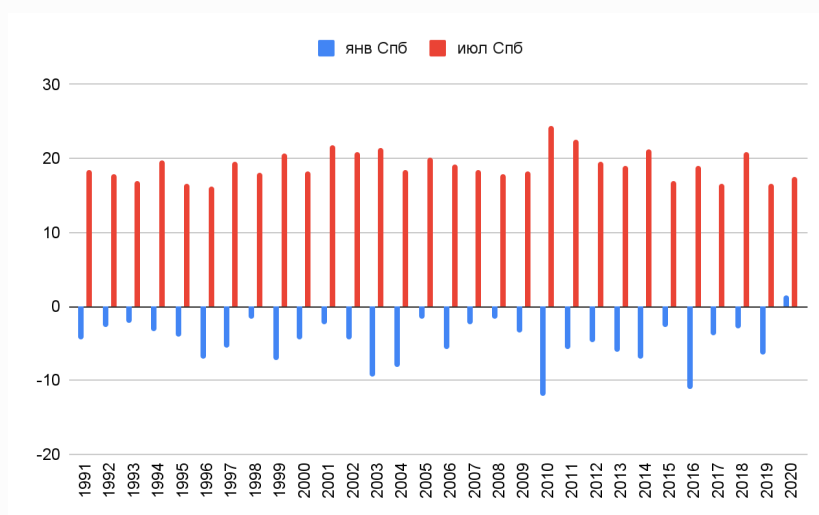


Рисунок 2.7 — Динамика температуры воздуха в январе и июле в Санкт-Петербурге по исследуемым данным

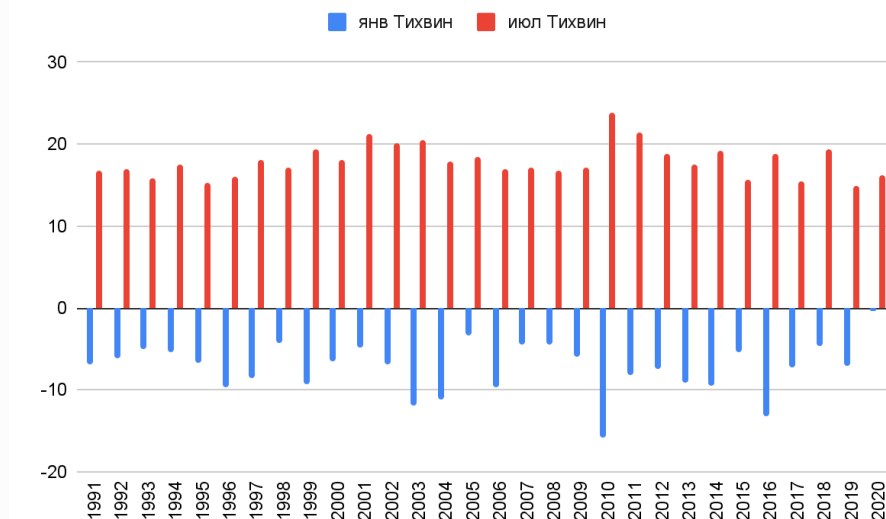


Рисунок 2.8 — Динамика температуры воздуха в январе и июле в Тихвине по исследуемым данным

На рисунках 2.9 и 2.10 представлен анализ динамики температурных экстремумов за многолетний архив наблюдений и в рамках исследуемого периода, можно увидеть, что минимальные и максимальные значения температур уменьшились. Также с помощью графика разницы амплитуд экстремальных значений температуры (рис 2.11) видим, что амплитуда сократилась, особенно весной и осенью период.

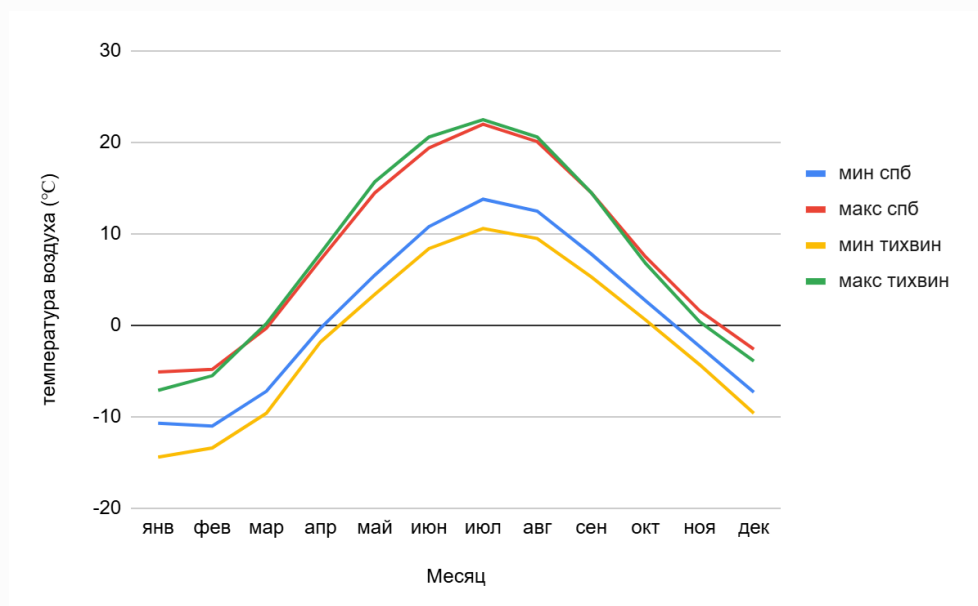


Рисунок 2.9 – Экстремальные температурные показатели (°C) за многолетний период

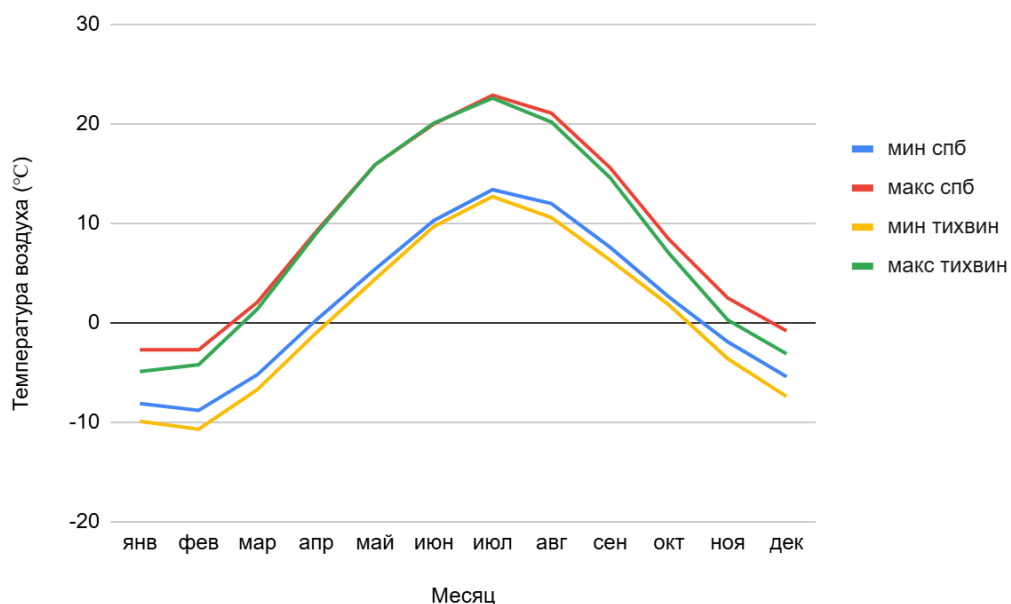


Рисунок 2.10 – Экстремальные температурные показатели (°C) за исследуемый период

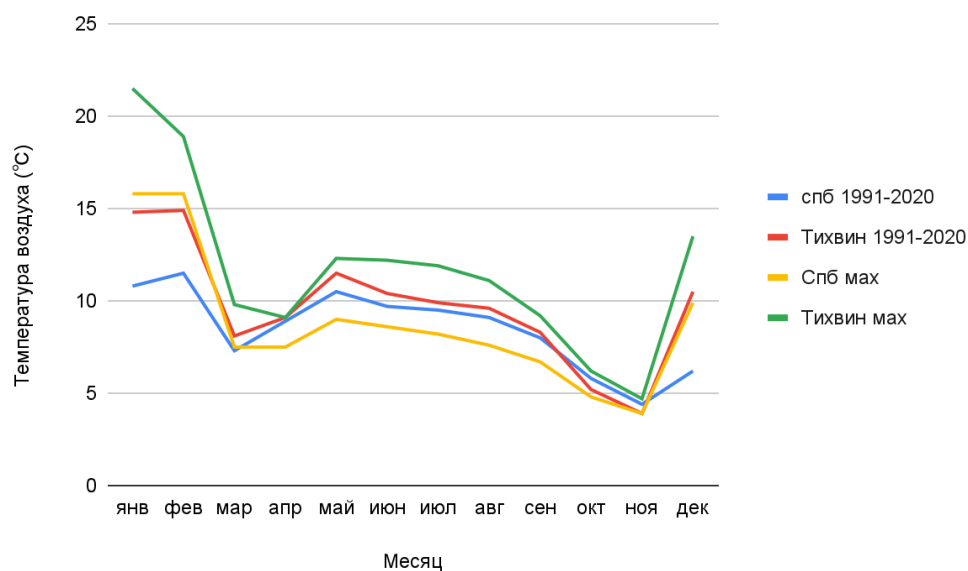


Рисунок 2.11 —Внутригодовые изменения среднемесячных температурных амплитуд по многолетним значениям и за исследуемый период

Особенности почвенного покрова Ленинградской области напрямую связаны с ее ландшафтно-климатическими условиями. Преобладают малоплодородные подзолистые почвы с низким содержанием гумуса (менее

1.5%) и кислой реакцией среды (pH 4.0–5.5). В зонах избыточного увлажнения распространены торфяно-болотистые почвы, а на юге — серые лесные.

Анализ многолетних наблюдений (1991–2020 гг.) демонстрирует устойчивую тенденцию: на всех изученных глубинах (20–320 см) температура грунта последовательно возрастает по мере удаления от поверхности. Данная закономерность наглядно отражена в графике среднегодовых значений (рис.2.12), при этом разница между поверхностными (20 см) и глубокими (320 см) слоями составляет в среднем 0.9-1.2°C. Наблюдается общая тенденция к потеплению, заметная с 1999 года, при этом чем глубже слой почвы, тем меньше амплитуда температурных колебаний и выше стабильность температурного режима.

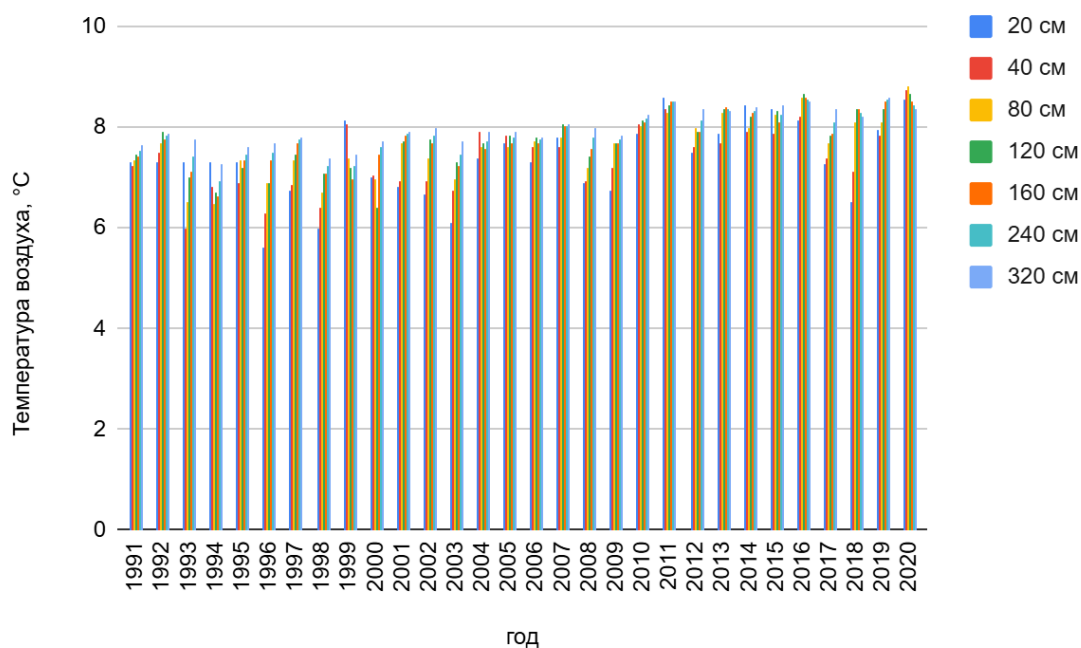


Рисунок 2.12 — Среднегодовой ход температуры почвы по за исследуемый период гор Санкт-Петербург

Анализ температурных данных подтверждает, что Санкт-Петербург является примером “острова тепла”: средние зимние температуры в городе на 2-3°C выше, чем в близлежащем Тихвине, а летние - примерно на 1,5°C. Особенно ярко это проявляется в зимние месяцы, когда разница может достигать 5-6°C.

Такая температурная аномалия обусловлена большим количеством зданий, промышленных объектов и низкой теплопроводностью городских материалов.

Эти особенности необходимо учитывать при проектировании и строительстве, особенно в контексте современных климатических изменений. При планировании новых объектов следует принимать во внимание не только средние температурные показатели, но и их изменчивость, что позволит создать более энергоэффективные и комфортные здания, устойчивые к экстремальным погодным условиям.

2.3 Анализ режима ветра и осадков

Комплекс явлений, связанных с движением воздуха в регионе, называется ветровым режимом. Его основные показатели — это интенсивность ветра и его направление.

Исследование сезонной динамики ветрового режима в Санкт-Петербурге, представленное на рис.2.13 выявляет, что за период 1991-2020 годов скорость ветра в Санкт-Петербурге стабилизировалась на уровне 2,8-3,1 м/с с минимальными колебаниями по месяцам, в то время как многолетние данные демонстрируют более заметные сезонные изменения.

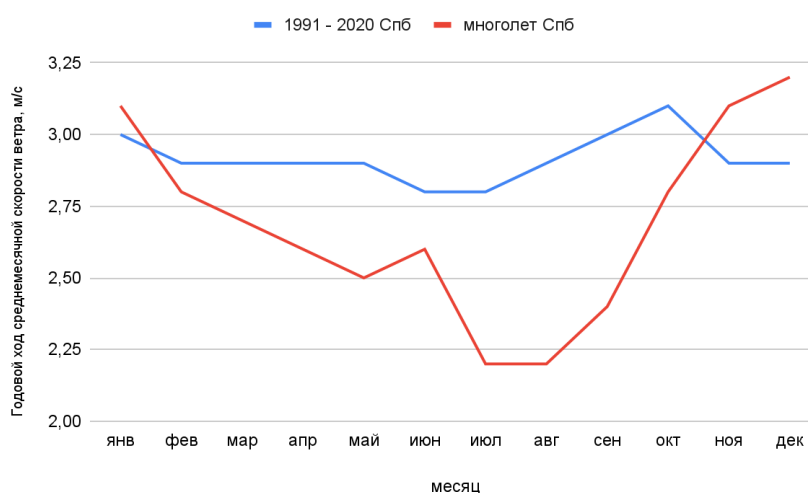


Рисунок 2.13 — Сезонные изменения скорости ветра в Санкт-Петербурге за многолетний и исследуемый период

Сравнительный анализ показывает, что современные показатели ветра в Тихвине (рис.2.14) демонстрируют более равномерное распределение скоростей в течение года, в то время как многолетние данные указывают на ярко выраженную сезонность с пиками зимой и осенью. За последние годы наблюдается уменьшение контраста между максимальной (декабрь, 4 м/с) и минимальной (август, 2,8 м/с) среднемесячной скоростью ветра. Если ранее разница составляла 1,2 м/с, то в настоящее время она сократилась до 0,7 м/с.

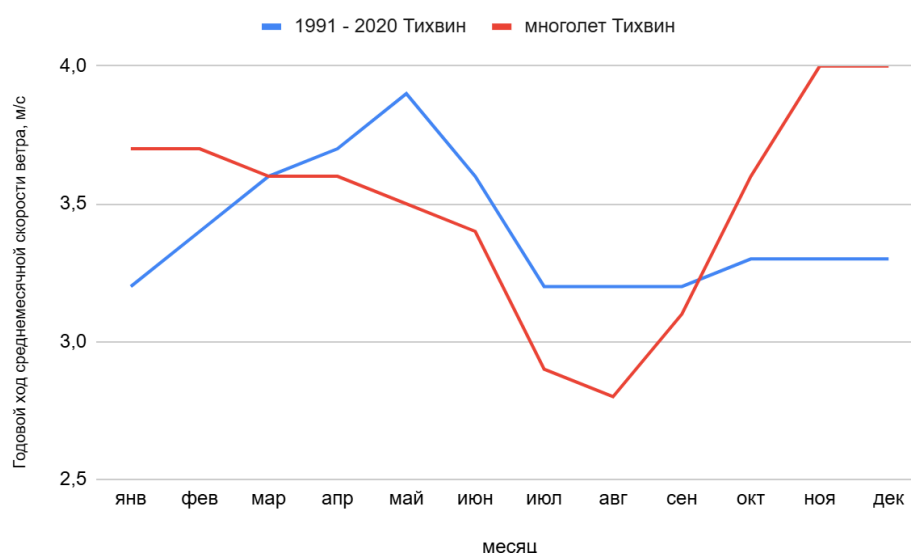


Рисунок 2.14 — Сезонные изменения скорости ветра в Тихвине за многолетний и исследуемый период

Изучив пиковых показатели скоростей и резких усилений ветра в Санкт-Петербурге и Тихвине (рис.2.15), можно отметить существенные различия в ветровых режимах этих городов.

В Санкт-Петербурге, наблюдается относительно стабильный ветровой режим с небольшими сезонными колебаниями. Максимальная скорость ветра в городе варьируется от 12 до 17 м/с, при этом порывы достигают 18-22 м/с. Наиболее ветреными месяцами являются март, май и сентябрь.

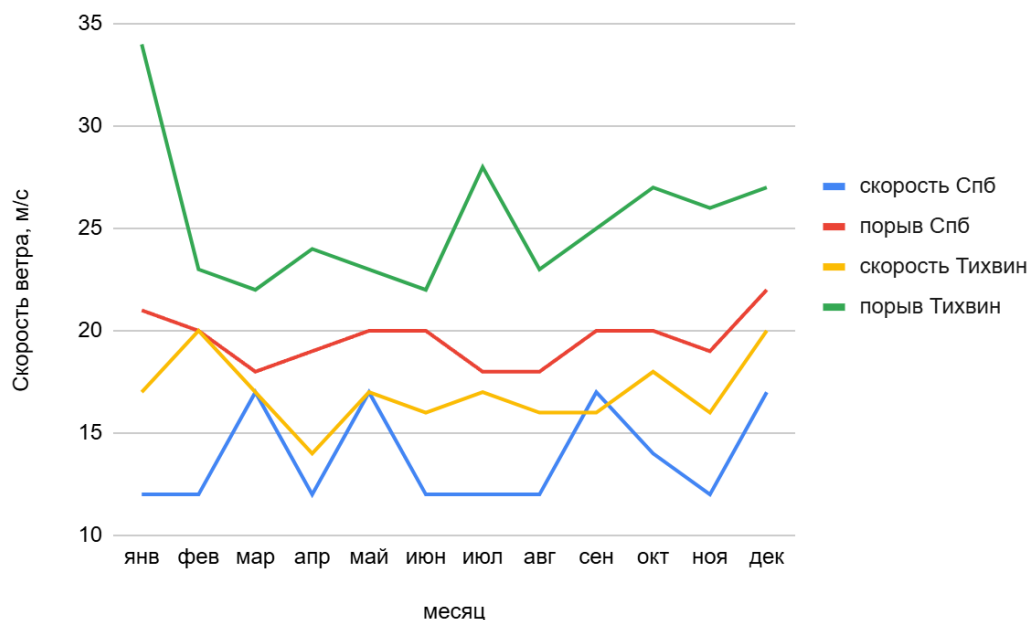


Рисунок 2.15 – Годовой ход максимальной скорости ветра и порывов (м/с) за многолетний период

В Тихвине более интенсивный ветровой режим. Максимальные скорости ветра достигают 20 м/с, а порывы могут превышать 34 м/с.

Далее по значениям за многолетний период для Санкт-Петербурга и Тихвина были построены и проанализированы графики повторяемости направлений ветра в январе (Рисунок 2.16), марте (Рисунок 2.17), июле (Рисунок 2.18) и октябре (Рисунок 2.19). На графиках видно, что в течение года для обоих городов характерно преобладание южного направления ветра, при этом Санкт-Петербург отличается более выраженной западной составляющей ветров, в то время как Тихвин демонстрирует более равномерное распределение ветров по направлениям с чуть более частым проявлением северных ветров (в январе 10%); сезонные изменения направления ветра более заметны в Санкт-Петербурге, где наблюдается четкая смена преобладающих направлений, тогда как в Тихвине распределение ветров остается более стабильным в течение всего года.

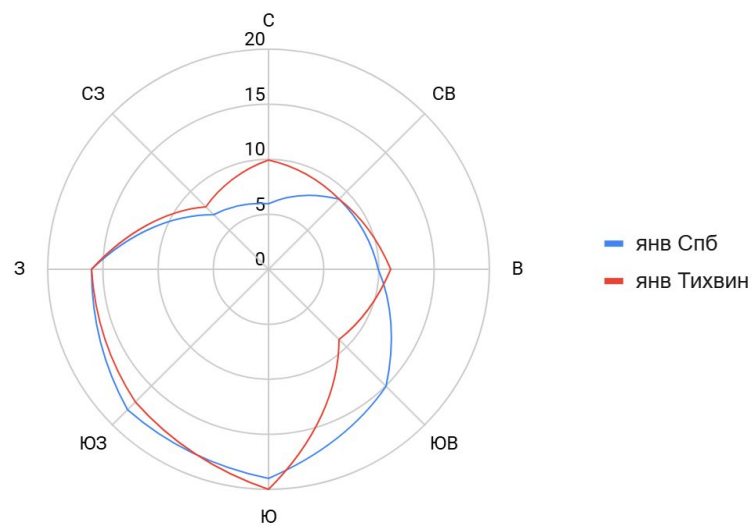


Рисунок 2.16 – Характеристика ветрового режима по направлениям в январе за многолетним значениям

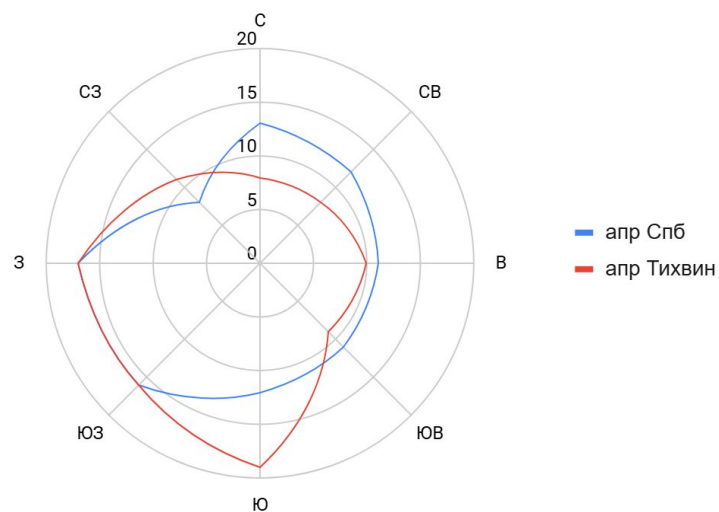


Рисунок 2.17 – Характеристика ветрового режима по направлениям в апреле за многолетний период

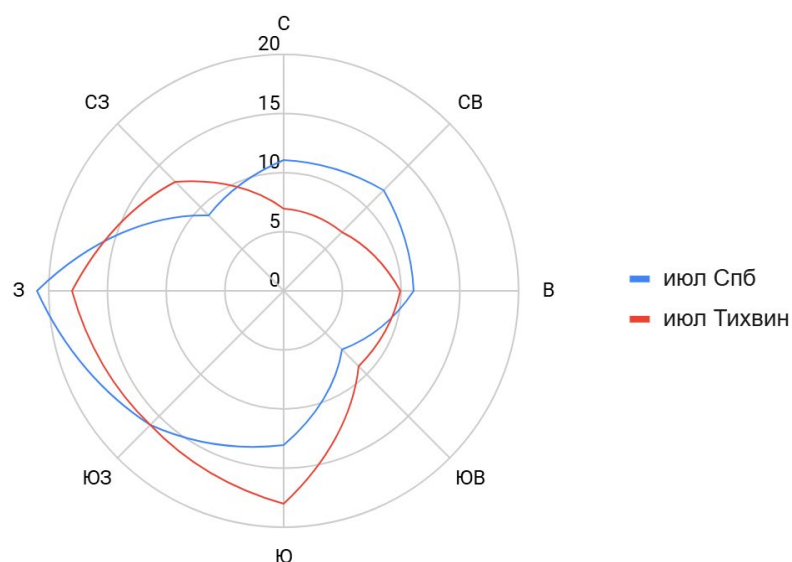


Рисунок 2.18 – Характеристика ветрового режима по направлениям в июле за многолетний период

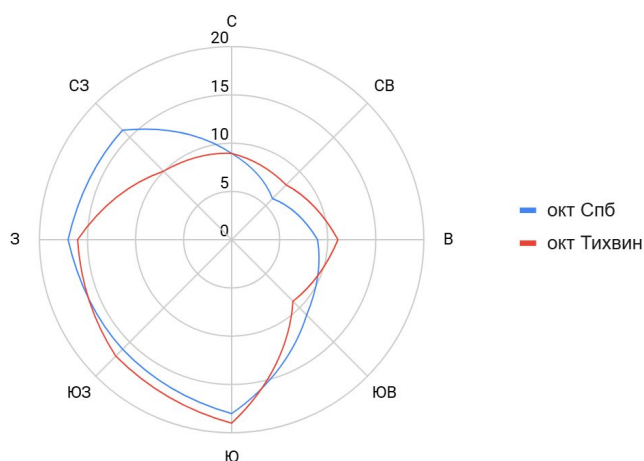


Рисунок 2.19 – Характеристика ветрового режима по направлениям в октябре за многолетний период

Статистика ветрового режима северной столицы (рис. 2.20) демонстрирует чёткую картину: доминирующей является скорость ветра 2–3 м/с, фиксируемая в 42,9–51% случаев. При этом штили и слабый ветер (0–1 м/с) занимают существенную долю — от 30,1% до почти половины времени (48,7%). Значительно реже наблюдаются ветры с силой 4-5 м/с и очень

сильные ветры в диапазоне 6-9 м/с практически не встречаются, их суммарная повторяемость не превышает 3,5% в любой месяц.

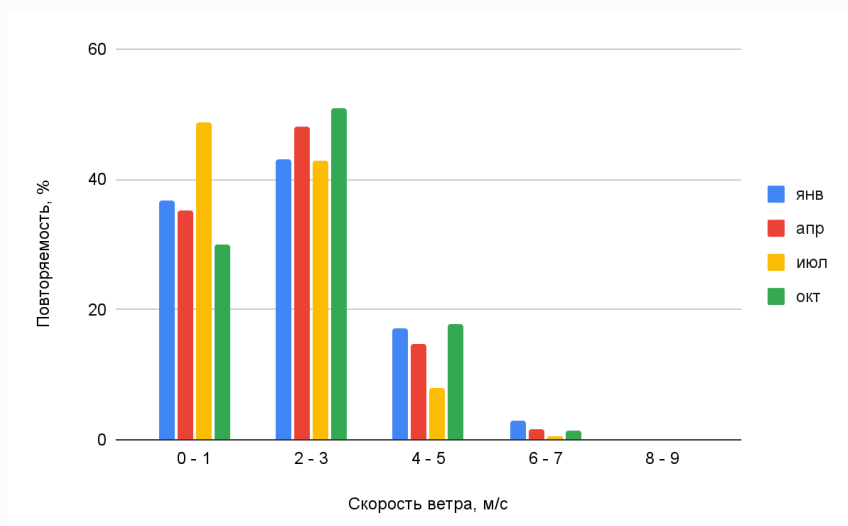


Рисунок 2.20 – вероятность повторяемости скоростей ветра (%) в Сочи в январе, марте, июле и октябре за многолетний период

Для оценки динамики осадков применяются средние месячные значения их суммы и относительной влажности, а также рассмотрено максимальное количество осадков за многолетний период.

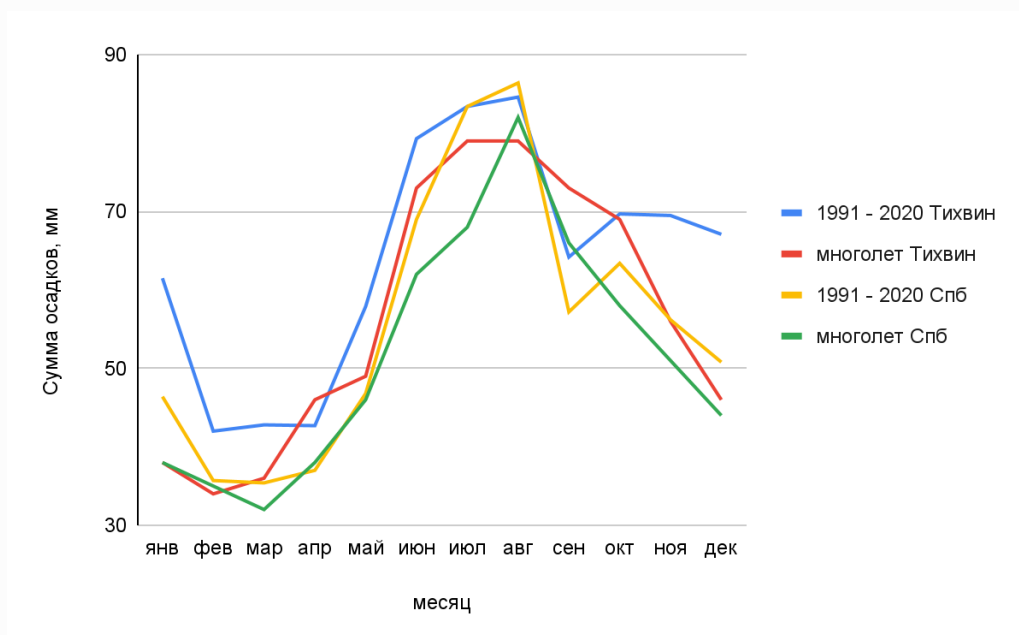


Рисунок 2.21 — Среднемесячная сумма осадков за многолетний и исследуемый период

Исследование сезонного распределения атмосферных осадков (рис.2.21) выявило существенные различия в гидрологическом режиме двух городов: в Санкт-Петербурге отмечается равномерное распределение осадков в период зима-весна с наименьшим показателем в марте, в то время как Тихвин характеризуется нарастанием количества осадков от декабря к марту при минимальной отметке в феврале. Формирование более влажного климата в Санкт-Петербурге и Тихвине подтверждается данными исследования, однако региональные особенности распределения осадков сохраняются. За исследуемый период среднемесячное количество осадков увеличилось: в Санкт-Петербурге — на 5 мм, в Тихвине — на 6 мм. При этом максимальные осадки в обоих городах по-прежнему приходятся на август.

Наблюдения за сезонной динамикой (рис. 2.22) выявили контраст в изменении режима влажности воздуха: Санкт-Петербург демонстрирует снижение относительной влажности воздуха в весенние месяцы (февраль-апрель) с переносом сезонного минимума на апрель, тогда как Тихвин сохранил устойчивый годовой цикл с минимальными значениями в мае. Оба города объединяет пик увлажнения в ноябре и стабильная среднегодовая величина показателя на уровне 82%, что указывает на сохранение общего фона при локальных изменениях структуры влажностного режима.

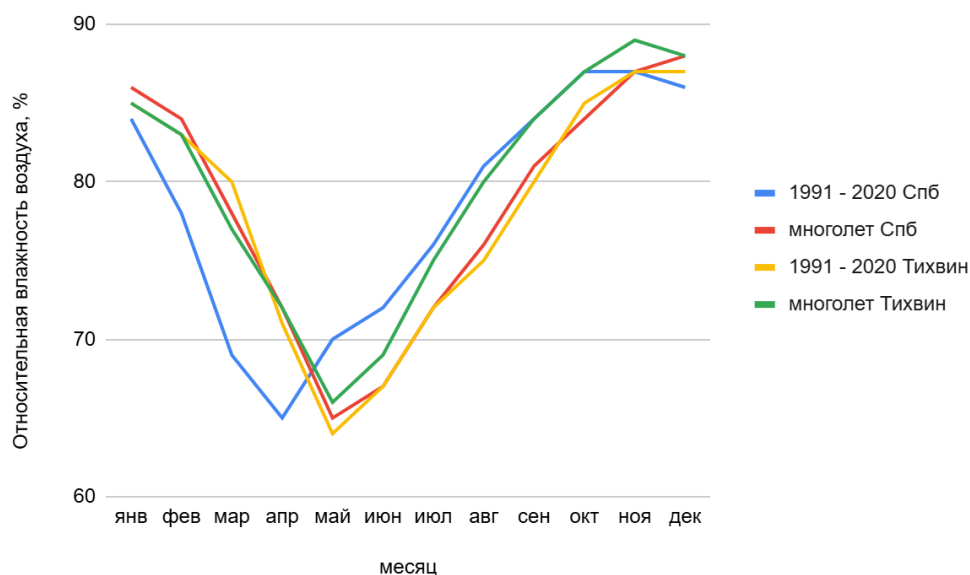


Рисунок 2.22 — Среднемесячная относительная влажность воздуха за многолетний и исследуемый период

Изучение долгосрочных наблюдений (рис. 2.23) демонстрирует сезонную изменчивость максимальных суточных осадков. Пик приходится на теплый период (май-сентябрь), спад отмечается в холодное время года (октябрь-апрель). Примечательно, что в Тихвине средние показатели максимальных осадков превышают Петербург (14 мм против 13 мм).

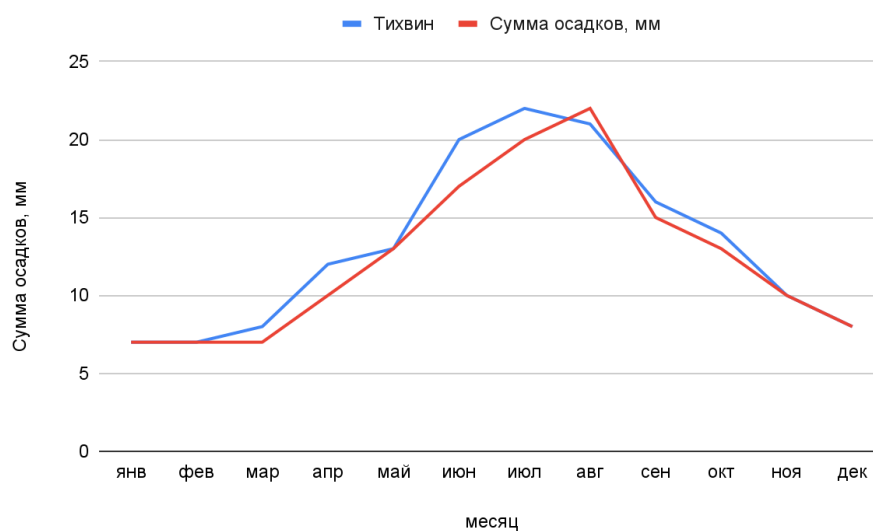


Рисунок 2.23 — Максимальное суточное количество осадков по многолетним значениям

По сравнительному графику высоты снежного покрова (рис. 2.24) видно, что в Тихвине высота снега стабильно превышает показатели Санкт-Петербурга на протяжении всего периода наблюдений. В начале сезона (октябрь-ноябрь) разница между городами составляет 1-2 см, однако к пику зимы (февраль) достигает 8-10 см.

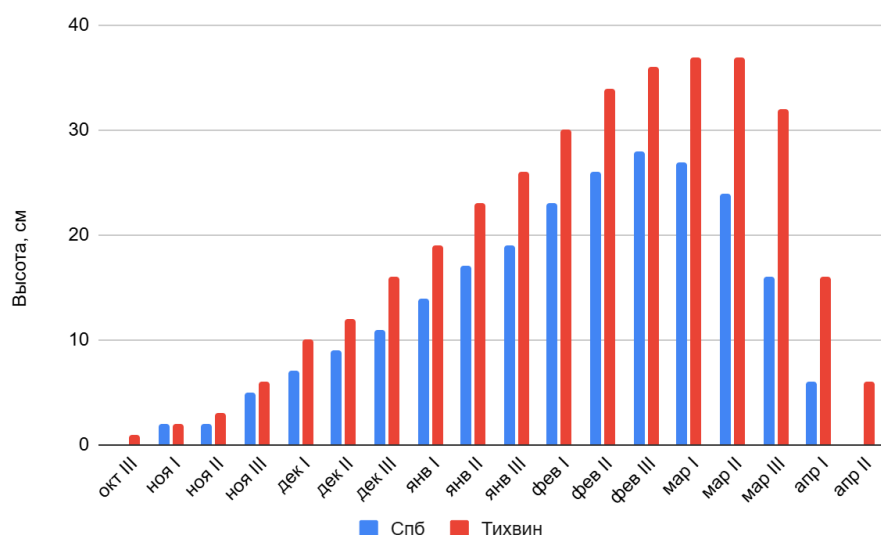


Рисунок 2.24 — Высота снежного покрова в Санкт-Петербурге и Тихвине

В результате анализа наблюдается общая тенденция к увеличению количества осадков в обоих городах при сохранении схожих климатических характеристик влажности воздуха. При этом Тихвин демонстрирует более высокие показатели максимального суточного количества осадков по сравнению с Санкт-Петербургом.

Выявленная в главе динамика климатических показателей важна для строительной практики, что требует использования актуальных метеорологических данных при проектировании. Представленные сравнительные графики демонстрируют характер изменений.

ГЛАВА 3. РАСЧЕТ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

3.1 Оценка роли солнечной радиации в обеспечении теплового баланса зданий

В контексте проектирования энергоэффективных фасадов важным этапом является определение количества поглощенной солнечной энергии. Алгоритм расчёта суммарной радиации для вертикальных стен, основанный на формуле (1.9), предусматривает анализ трех источников: прямой, рассеянной и отраженной радиации. Данные для расчётов, адаптированные под условия средней облачности, указаны в таблице 3.1 [7].

Таблица 3.1 — Осредненные данные S' D Q_r A_k из климатического справочника для города Санкт—Петербурга

месяц	S'	D_r	Q_r
январь	3	20	24
февраль	21	52	73
март	98	117	215
апрель	176	168	344
май	302	240	542
июнь	347	259	606
июль	312	251	564
август	214	202	416
сентябрь	108	129	237
октябрь	33	61	94
ноябрь	6	21	27
декабрь	2	12	14

На первом этапе расчетов на основе подготовленных исходных данных выполняется коррекция значений прямой солнечной радиации (S_v). Для этого применяются поправочные коэффициенты, приведенные в таблице 3

приложения, с учетом географической широты местности, составляющей приблизительно 60° [9].

На следующем этапе вычислений определяются ключевые параметры радиационного воздействия: величина R_v — интенсивность отраженной от земной поверхности солнечной радиации, направленной на вертикальные конструкции, и показатель Q_v , характеризующий суммарный энергетический поток, воздействующий за единицу времени на стены здания с различной пространственной ориентацией — южной, северной, восточной и западной.

Финальный этап — вычисление поглощенной радиации (B_v). В расчетах используется значение альбедо 0.5, соответствующее гладкой поверхности из розового кирпича. Все полученные результаты фиксируются в сводной таблице (табл. 3.2), где сопоставляются данные для каждой ориентации стен.

Таблица 3.2— Расчет величины поглощенной радиации B_v для стен различной ориентации

Параметр	Направление	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
S'		3	21	98	176	302	347	312	214	108	33	6	2
K_s	Ю	7,2	3,5	1,85	1,03	0,64	0,50	0,56	0,83	1,44	2,60	5,50	-
	В	0,76	0,87	0,66	0,64	0,59	0,56	0,56	0,58	0,68	0,72	0,86	-
	З	1,19	1,18	0,66	0,56	0,50	0,49	0,52	0,56	0,62	0,74	0,86	-
	С	-	-	-	0,02	0,09	0,14	0,12	0,06	-	-	-	-
S_{θ}	Ю	21,0	66,8	147,2	155,8	137,2	86,8	88,3	125,6	128,2	77,2	31,8	-
	В	2,2	16,5	53,2	95,8	125,6	98,2	88,3	88,6	60,8	21,8	5,0	-
	З	3,5	22,5	53,2	85,3	106,8	85,6	81,1	85,3	55,6	22,3	5,0	-
	С	-	-	-	3,07	19,2	24,3	18,7	9,0	-	-	-	-

Dz		20	52	117	168	240	259	251	202	129	61	21	12
$Dz/2$		10	26	58,5	84	120	129,5	125,5	101	64,5	30,5	10,5	6
Q_r		24	73	215	344	542	606	564	416	237	94	27	14
A_k		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
R_r		0,048	0,146	0,430	0,688	1,084	1,212	1,128	0,832	0,474	0,188	0,054	0,28
$R_r/2$		0,024	0,073	0,215	0,344	0,542	0,606	0,564	0,416	0,237	0,094	0,027	0,014
Q_6	Ю	31,02	92,87	205,92	239,14	257,74	216,91	214,36	227,02	192,94	107,80	42,33	6,01
	В	12,22	42,57	111,92	179,14	246,14	228,31	214,36	189,02	125,54	52,39	15,53	6,01
	З	13,52	48,57	111,92	169,64	227,34	215,71	207,16	186,72	120,34	52,90	15,53	6,01
	С	10,02	26,07	58,71	87,41	139,74	154,41	144,76	110,42	64,74	30,59	10,57	6,01
A_c		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
B_6	Ю	15,51	46,44	102,96	119,57	128,87	108,46	107,18	113,51	96,47	53,90	21,17	3,01
	В	6,11	21,29	55,96	89,57	123,07	114,16	107,18	94,51	62,77	26,20	7,77	3,01
	З	6,76	24,29	55,94	84,82	113,67	107,86	103,58	93,36	60,17	26,45	7,77	3,01
	С	5,01	13,04	29,36	43,71	69,87	77,21	72,38	55,21	32,37	15,30	5,29	3,01

На основе полученных данных о поглощенном излучении выполняется построение графиков сезонной динамики для каждой из сторон здания. Визуализация годовых изменений представлена в графических материалах: северная ориентация — рис. 3.1, западная — рис. 3.2, южная — рис. 3.3, восточная — рис. 3.4.

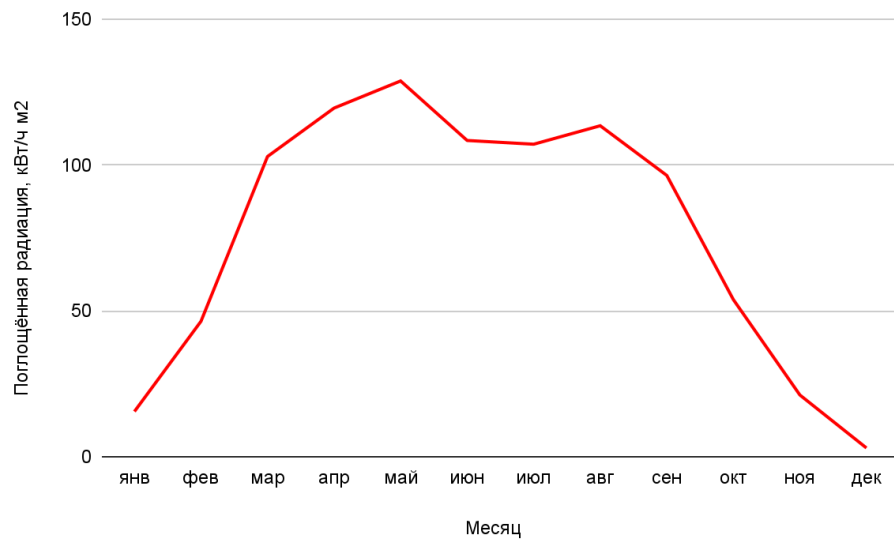


Рисунок 3.1 — Сезонное распределение поглощенной солнечной радиации южными фасадами

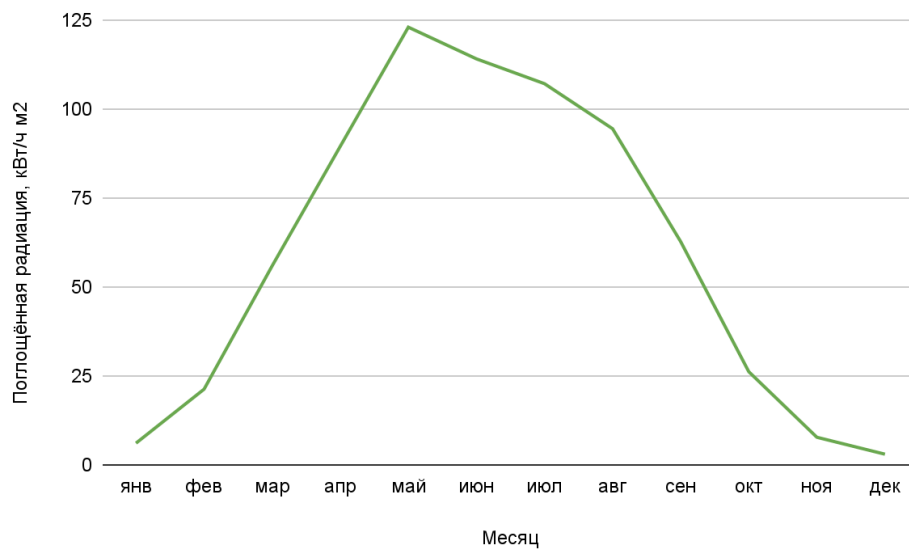


Рисунок 3.2 — Сезонное распределение поглощенной солнечной радиации восточными фасадами

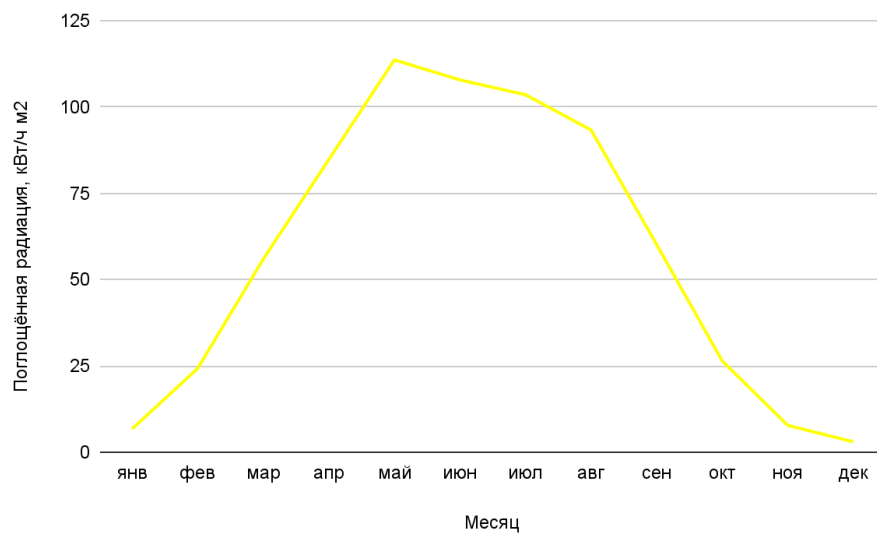


Рисунок 3.3 — Сезонное распределение поглощенной солнечной радиации западными фасадами

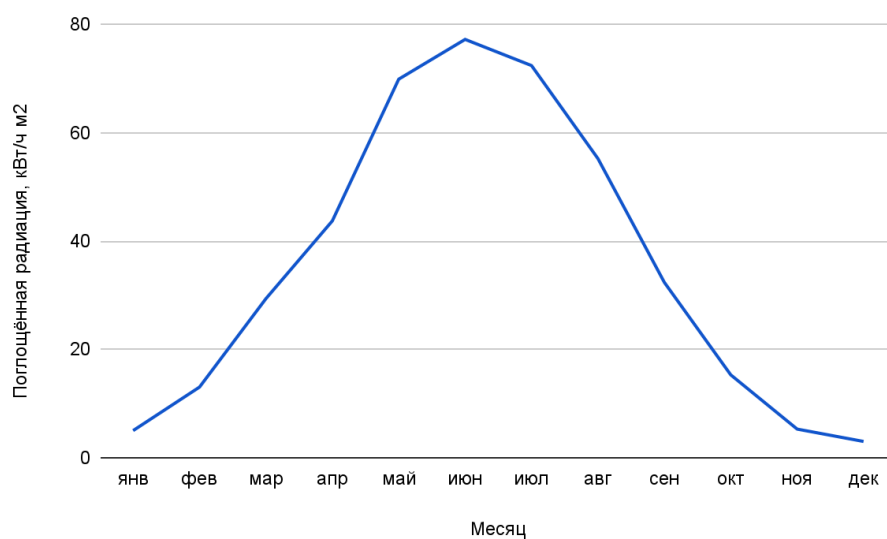


Рисунок 3.4 — Сезонное распределение поглощенной солнечной радиации северными фасадами

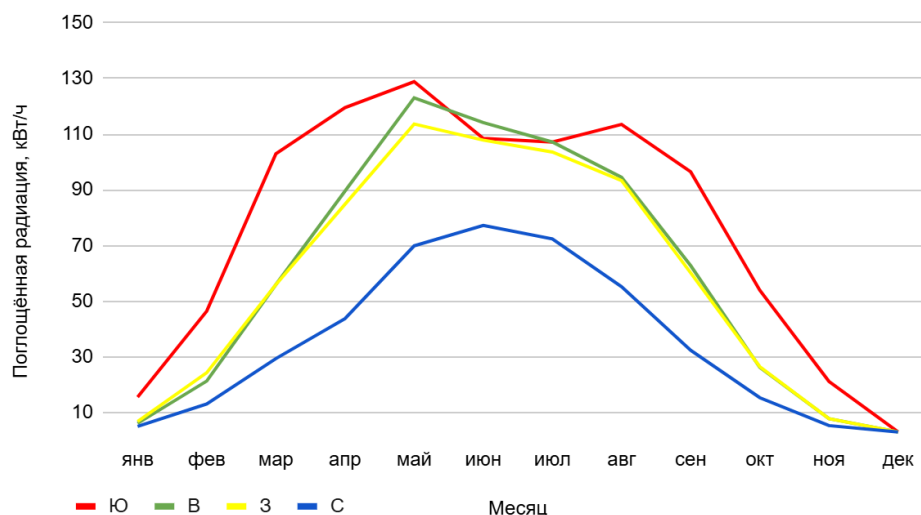


Рисунок 3.5 —Сезонное распределение поглощенной солнечной радиации фасадами различной ориентации

Анализ сравнительных данных поглощенного излучения стенами разных направлений (рис. 3.5) позволяет выявить закономерности: северная сторона демонстрирует минимальные показатели, южная — максимальные, а западная и восточная — близкие значения, отличающиеся незначительно. Сезонная динамика показывает, что пик излучения для западных и восточных конструкций наблюдается в мае, для южных стен максимумы фиксируются в мае и августе, а для северных — в июне. Общий минимум поглощенной энергии для всех направлений приходится на декабрь.

Анализ графиков сезонной динамики, позволяет выявить периоды с минимальным и максимальным поглощением энергии, а также определить годовую амплитуду этих показателей. Все результаты расчетов занесены в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 — периоды наступления экстремумов значений B_e , определенные по графикам годовых ходов данной величины

	Юг	Восток	Запад	Север
Максимум	май	май	май	июнь
Минимум	декабрь	декабрь	декабрь	декабрь
Амплитуда за год	125,86	120,06	110,66	74,2

Для оценки влияния солнечной радиации на температурные параметры используется поправочный коэффициент Δt_c , рассчитываемый по формуле (1.10). Результаты вычислений температурной поправки, отражающие степень воздействия лучистой энергии, приведены в таблице 3.4

Таблица 3.4 — периоды наступления экстремумов значений Δt_c , определенные по графикам годовых ходов данной величины

Δt_c	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Ю	-0,18	1,06	3,31	3,98	4,35	3,53	3,48	3,74	3,05	1,36	0,05	-,068
В	-,056	0,05	1,44	2,78	4,12	3,77	3,49	2,99	1,71	0,25	-0,49	-,068
З	-0,53	0,17	1,44	2,60	3,75	3,51	3,34	2,93	1,61	0,26	-0,49	-,068
С	-0,60	-0,28	0,37	0,95	2,00	2,29	2,09	1,40	0,49	-0,19	-0,59	-,068

Полученные в результате анализа данные имеют практическую ценность. Они могут применяться для учета воздействия солнечной радиации. Это важно при проектировании и строительстве зданий. Учёт солнечной радиации позволяет оптимизировать тепловые характеристики зданий и снизить затраты на отопление и охлаждение.

3.2 Расчет специализированных температурных характеристик в строительной отрасли

Графики среднемесячных температур (рис. 3.6 – 3.9) отражают климатические изменения в Санкт-Петербурге за 1991–2020 гг., разбитые на десятилетние интервалы. Расчётные периоды (1991–2000, 2001–2010, 2011–2020) выделены для детализации тенденций. Годовой цикл на графиках начинается с июля для удобства.

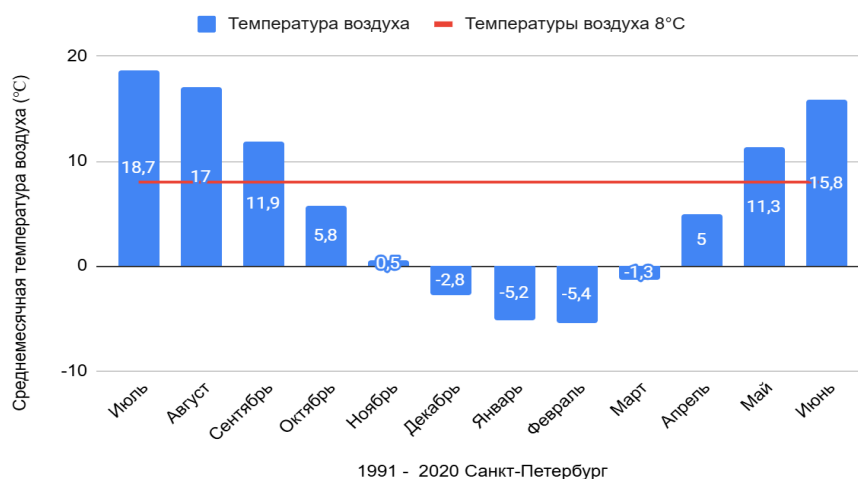


Рисунок 3.6 — Годовой ход среднемесячной температуры воздуха (°C) за 1991-2020 в Санкт-Петербурге

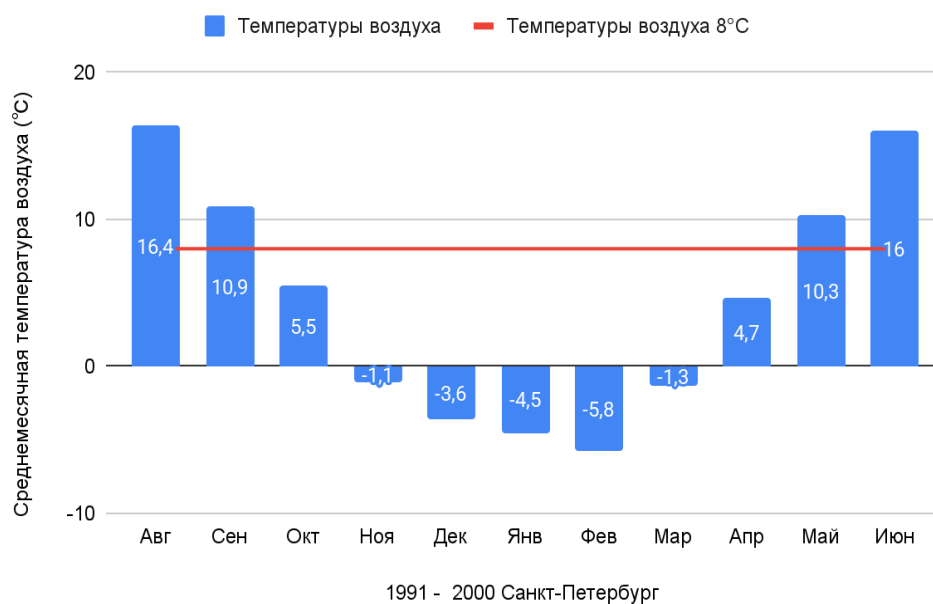


Рисунок 3.7 — Годовой ход среднемесячной температуры воздуха (°C) за 1991-2000 в Санкт-Петербурге

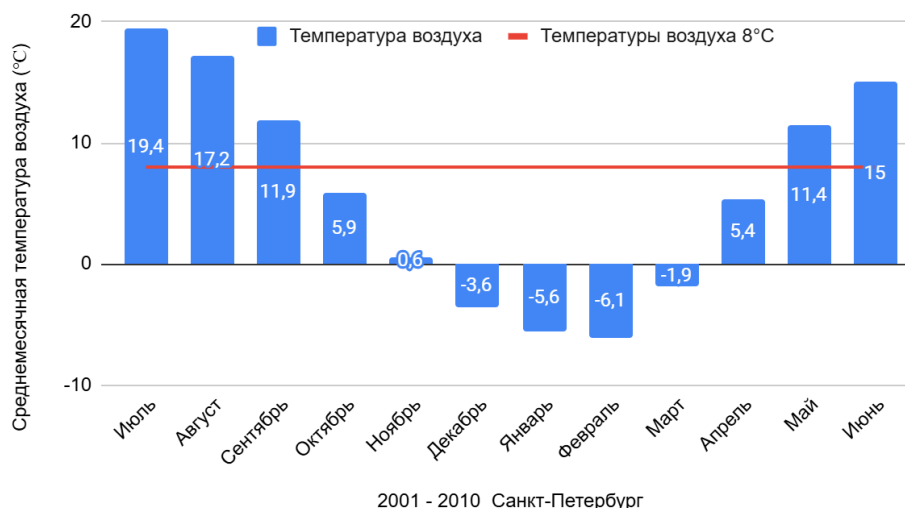


Рисунок 3.8 — Годовой ход среднемесячной температуры воздуха (°C) за 2001-2010 в Санкт-Петербурге

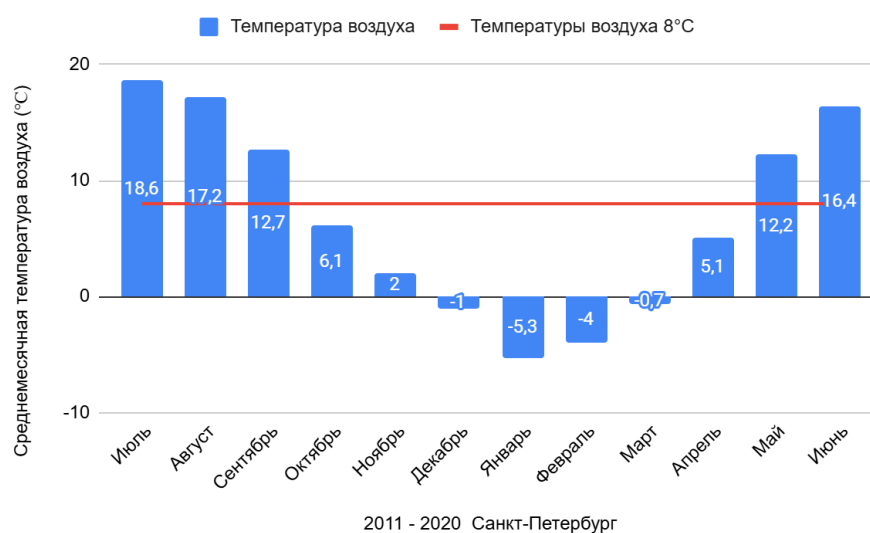


Рисунок 3.9 — Годовой ход среднемесячной температуры воздуха (°C) за 2011-2020 в Санкт-Петербурге

Анализ данных за 1991–2020 годы показал, что средний отопительный период длился 238 дней с температурой воздуха 2,2 °C.

Используя формулы расчетной температуры для наиболее холодной пятидневки (1.1) и самых холодных суток (1.2), эмпирические константы T и T_l — для Санкт-Петербурга соответствуют значениям 17,6°C и 21°C. В уравнении для расчета вентиляционной температуры (1.3) T_2 — постоянная

величина, зависящая от района региона, по табличному значению будет равна -3 °С. В результате проведенных расчетов была сформирована таблица значений термических параметров температуры воздуха (см. табл. 3.5).

Таблица 3.5 — Рассчитанные специализированные термические показатели для Санкт-Петербурга за исследуемый период

Расчетный период, годы	Средняя продолжительность отопительного периода, дней	Средняя температура отопительного периода, °С	Средняя температура воздуха за самый холодный месяц, °С	Температура самой холодной пятидневки, °С	Температура самых холодных суток, °С	Вентиляционная температура, °С
1991-2000	240	1,6	- 5,8	-24,9	28,6	-3,5
2001-2010	238	2,0	- 6,1	-25,2	29,0	-3,8
2011-2020	236	3,0	-5,3	-24,2	28,0	-3,0
1991-2020	238	2,2	-5,4	-24,4	28,1	-3,1

Среди специализированных показателей, характеризующих термический режим почвы, можно выделить положение нулевой изотермы (рис. 3.7) и глубину промерзания почвы. Эти параметры имеют важное значение для анализа температурных условий в почве.

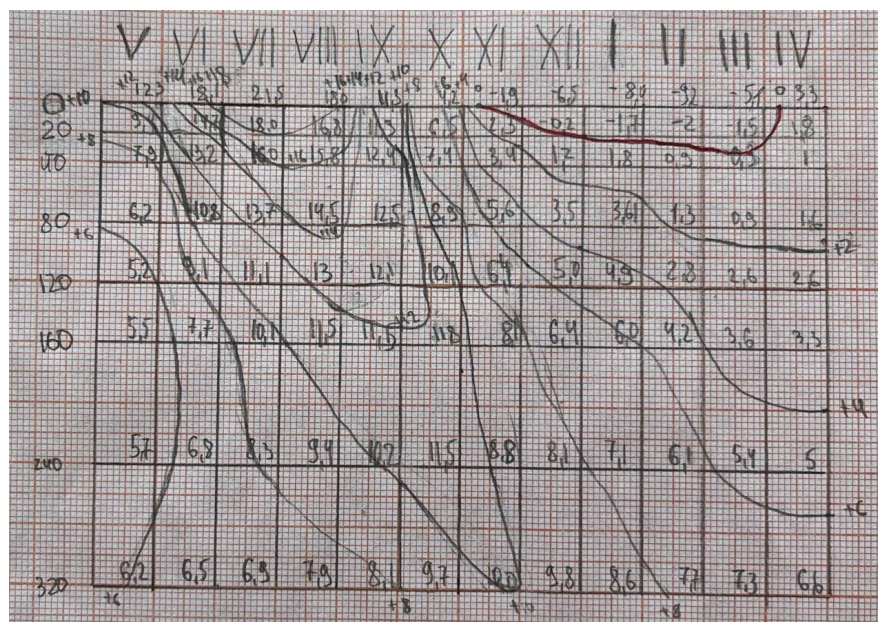


Рисунок 3.7 — Положения нулевой изотермы

В течение исследуемого периода нулевая изотерма фиксируется на глубине 40 см. Заморозки обычно начинаются в ноябре и завершаются в апреле. Для определения глубины промерзания почвы h_n используется формула (1.4), в которой учитываются абсолютные значения сумм средних месячных отрицательных температур за холодный период года и коэффициент c , зависящий от состава почвы. Для глинистых и суглинистых почв коэффициент c равен 23, для супесчаных почв — 28, а для песков со средней и крупной структурой — 30 [1].

Сумма модуля температур за холодный сезон (с декабря по март) за период с 2011 по 2020 год составляет 11 °С.

$$\sum |t| = 11$$

$$h_n = c\sqrt{I\sum}$$

На основании проведённых расчётов были получены следующие данные (табл. 3.6).

Таблица 3.6 — Рассчитанная глубина промерзания почвы при разных составах почв

Вид почвы	Глинистые и суглинистые почвы	Супесчаные почвы	Пески
Глубина промерзания почвы в Санкт-Петербурге, см	83	101	108

При строительстве сооружений важно учитывать положение нулевой изотермы в грунте, поскольку именно эта отметка определяет границу перехода воды в твердое состояние. Если фундамент заложен выше уровня промерзания, возникает риск разрушительного воздействия морозного пучения, что может привести к серьезным деформациям всей конструкции здания.

3.3 Оценка параметров метеорологической нагрузки на сооружения

Расчёт ветровой нагрузки на крышу Q_m (кгс/м²) выполняется с учетом нормативной величины ветрового давления, определяемого по карте ветровых нагрузок (рис. 1.2), равняется 24 кг/м². c_x — аэродинамический коэффициент равен 0,7 (см.табл. 8 приложения).

Коэффициент $\phi_k(z_e)$ будет зависеть от характера местности. Выделяют три типа подстилающей поверхности: тип «А» - открытые ровные участки: побережья морей, озер и рек, степи, пустыни, тундровые районы, лесостепи; тип «В» - местность, покрытая препятствиями высотой до 10 метров: городская зона, леса и пр.; и тип «С» - городские районы с застройкой высотой более 25 м. Значение коэффициента приведены в табл. 6 (см. прилож.). Расчеты произведены по различным высотам по трем типам местности (в зависимости от коэффициента $\phi_k(z_e)$).

Осуществляем подстановку значений в формулу (1.11):

$$Q_m = k(z_e) * 0,7 * 24$$

Сформируем таблицу на основе вычисленных значений ветровой нагрузки (табл. 3.7).

Таблица 3.7 — Рассчитанная ветровая нагрузка при разных типах местности при аэродинамическом коэффициенте равном 0,7, кгс/м²

Высота над земной поверхностью, м	Вид ландшафта		
	А	В	С
≤5	12,6	8,4	6,72
10	16,8	10,92	6,72
20	21	14,28	9,24
40	25,2	18,48	13,44
60	28,56	21,84	16,8
80	31,08	24,36	19,32
100	33,6	26,88	21
150	37,8	31,92	26,04
200	41,16	35,28	30,24
250	44,52	38,64	33,6
300	46,2	42	36,96
350	46,2	46,2	39,48
≥480	46,2	46,2	46,2

При проектировании зданий и сооружений критически важно учитывать снеговую нагрузку как один из факторов метеорологических воздействия. Для точного прогнозирования используют показатель средней декадной высоты снежного покрова, фиксируемый по постоянной рейке, что позволяет не только

отслеживать сезонные изменения, но и проводить сравнительный анализ современных климатических тенденций с историческими данными за многолетний период наблюдений.

Снеговая нагрузка на строительные конструкции измеряется как масса снега, приходящаяся на каждый квадратный метр поверхности покрытия. Норматив $\dot{P}_o$ кгс/м² по снеговой нагрузке на горизонтальную поверхность принято определять по формуле (1.13).

Показатели будут иметь величину: $p = 222$ кгс/м² — средняя плотность снега по многолетним данным; $P = 0,34$ м — средняя из ежегодных максимальных высот снежного покрова на защищенных участках за тот же период [1].

Таким образом нормативная снеговая нагрузка будет равна:

$$P_o = 222 * 0,34 = 75 \text{ кгс/м}^2$$

Чтобы рассчитать нагрузку на покрытие, используем формулу (1.14). По карте ветровых нагрузок значение PH будет равно 240 кгс/м².

Следовательно, расчетная нагрузка достигает:

$$Pr = 1,4 * 240 = 336 \text{ кгс/м}^2,$$

это в 4,4 раза превышает нормативную нагрузку.

Для вычисления этого показателя можно применить другой метод (1.15):

$$Pr = 1 * 240 = 240 \text{ кгс/м}^2,$$

расчетная снеговая нагрузка для угла наклона кровли от 0° до 25°

$$Pr = 0,7 * 240 = 168 \text{ кгс/м}^2,$$

расчетная снеговая нагрузка для угла наклона кровли от 25° до 60°.

Выполненные вычисления позволили сформировать специализированные расчетные данные по снеговой нагрузке (табл. 3.8):

Таблица 3.8 — расчетные показатели снеговой нагрузки

	Нормативная нагрузка снега на горизонтальную поверхность P_o , кгс/м ²	Расчетная нагрузка конструкции покрытия P_r , кгс/м ²	Расчетная снеговая нагрузка для угла наклона кровли от 0° до 25° $\dot{P}_r$, кгс/м ²	Расчетная снеговая нагрузка для угла наклона кровли от 25° до 60° $\dot{P}_r$, кгс/м ²
Величина	75	336	240	168

Выявленные в процессе анализа специализированные показатели и метеорологические нагрузки, учитывающие особенности современного климатического режима, представляют собой надежную основу для практического применения в строительной отрасли и могут эффективно использоваться профессионалами при планировании и реализации строительных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования реализованы все запланированные задачи: актуализировано гидрометеорологическое обеспечение в строительной отрасли, проанализирован режим метеорологических характеристик и рассчитаны специализированные климатические показатели.

Во второй главе проводится сравнительный анализ показателей Санкт-Петербурга, как пример острова тепла и Тихвина менее населенного города. В результате было выявлено следующее. Показатели солнечного сияния, скорости ветра и высоты снежного покрова в Тихвине выше чем в Петербурге, однако температура воздуха во все сезоны в северной столице более существенны. Полученные результаты полностью подтверждают существование эффекта «острова тепла» в Санкт-Петербурге, антропогенное воздействие, включая большое количество промышленных предприятий и транспорта, плотную застройку и ограниченную циркуляцию воздуха, создает в мегаполисе особый микроклимат, который существенно отличается от условий в менее урбанизированных районах.

В заключительном этапе исследования особое внимание уделено специализированным климатическим характеристикам города Санкт-Петербурга, имеющим непосредственное значение при проектировании и строительстве. Обобщая результаты проведенного исследования, можно выделить следующие ключевые моменты. В условиях меняющегося климата наблюдается динамика роста температурных значений воздуха за период исследований (1991 – 2020 гг.) Это привело к изменению расчетных строительных показателей: сокращается продолжительность отопительного сезона, увеличиваются показатели самых холодных пятидневок и однопдневок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шталь В.А., Белов Н.Ф., Циценко Г.В. Прикладная климатология: учебное пособие / под ред. Л.Т. Матвеева, О.Г. Богаткина. — Ленинград: Ленинградский гидрометеорологический институт, 1981. — 164 с.
2. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации / Климатический центр Росгидромета. — СПб., 2017. — 106 с.
3. Росгидромет. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. — Москва: Росгидромет, 2020. — 97 с.
4. СНиП 23-01-99*. Свод правил СП 131.13330.2018. Строительная климатология. — М., 2018.
5. 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. — СПб.: Изд-во «Ниц Арт», 2022. — 80 с.
6. Логинова, Е. В. Прикладная климатология : электронный учебно-методический комплекс для специальности: 1-31 02 02 «Гидрометеорология» / Е. В. Логинова ; БГУ, Фак. географии и геоинформатики, Каф. общего землеведения и гидрометеорологии. — Минск : БГУ, 2019. — 200 с. : ил., табл. — Библиогр.: с. 199–200
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР: Сер. 3. Многолетние данные / Гос. ком. СССР по гидрометеорологии и контролю природ. среды. Вып. 3: Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская, Псковская, Калининская и Смоленская области, 1–6 / Сев.-Зап. террит. упр. по гидрометеорологии, Ленингр. гидрометеорол. центр, Карел. респ. центр по гидрометеорологии. — Л.: Гидрометеоиздат, 1988. — 692 с.
8. Пигольцина, Г. Б. Ресурсы солнечной радиации Ленинградской области / Г. Б. Пигольцина // Известия Российской академии метеорологии и климатологии. — 2009. — №2 (11). — С. 181-191.

9. Электронный ресурс // <https://base.garant.ru/71984330/a496d02287c1e8a2f8df9041972293a4/> (дата обращения: 08.06.2025).
10. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. — М.: Минстрой России, 2020.
11. Электронный ресурс // <http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=2> (дата обращения: 01.06.2025).
12. Электронный ресурс // http://pogoda-service.ru/climate_constructor.php (дата обращения: 01.06.2025).
13. Электронный ресурс // gr5.ru (дата обращения: 28.05.2025).
14. СНиП 29-05-19. Свод правил СП 131.13330.2018. Строительная климатология. — М., 2019.
15. Основы учёта климатических и геофизических условий при проектировании и строительстве искусственных сооружений: учебное пособие / А.А. Топеха. — Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2003.
16. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия : свод правил : актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* // Электронный ресурс - URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044318> (дата обращения: 28.05.2025)

Таблица 1 — значения T и T_l для различных районов ($^{\circ}\text{C}$)

Район	IB	IA	I	II	III	IV		
T	20,6	17,6	14,6	11,6	8,6	5,6		
Район	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
T_l	24,0	21,0	18,0	15,0	12,0	9,0	6,0	3,0

По величине T территория нашей страны разделена на шесть районов. К району IB относятся небольшие-территории между Енисейском и Красноярском, Печорой и Сыктывкаром. К району IA принадлежит почти вся северная часть ЕТС до широты 55° (исключая запад Карелии), южные и центральные районы Красноярского края, значительная часть Алтайского края, северное побережье Азовского моря, Корякский национальный округ. Район I включает в себя всю остальную часть ЕТС, Западной Сибири, Казахстан (кроме западных районов), юг Туркмении, западное побережье Чукотки, северную часть Камчатки. К району II относятся территории Средней Азии и Казахстана, примыкающие к Каспийскому и Аральскому морям, Эвенкийского национального округа и Прибайкалья, центральные районы Камчатки. К району III принадлежит восточная часть Ненецкого национального округа. Забайкалье, Магаданская область, юг Камчатки, центральные и южные районы Сахалина. К району IV относятся Якутия, Амурская область и большая часть Приморского края. По величине T_l территория СССР разбита на восемь районов. К I относится район Печоры. В район II входит север Европейской территории Союза (исключая запад Карелии и Кольский полуостров), северное и восточное побережья Азовского моря, юг Красноярского края и юго-восток Западносибирской низменности. Район III включает в себя большую часть Карелии, Центральные районы и юг Европейской территории Союза до широты 45° , Западную Сибирь

(кроме северных и южных районов), некоторые районы Средней Азии. К району IV относятся территория Казахстана и Средней Азии, часть Кольского полуострова, западное побережье Чукотки и север Камчатки и узкая полоса в Восточной Сибири. Районы V и VI также занимают узкие полосы в Восточной Сибири и на северо-востоке Азии. В район VII входит территория Восточной Сибири, заключенная между $115—130^\circ$ восточной долготы, Магаданская область, Приморский край, юг Сахалина. Району VIII принадлежит Якутия и Амурская область [1].



Рисунок 1 — Значение T для различных районов ($^\circ\text{C}$)

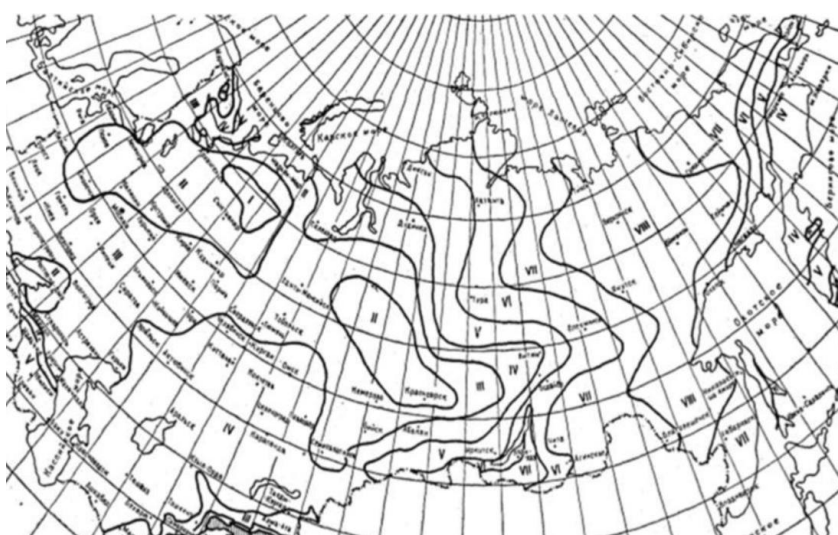


Рисунок 2 — Значение Tl для различных районов ($^\circ\text{C}$)

Таблица 2 — Значения постоянной величины T_2 (°C)

Район	А	Б	В
T_2	-6,5	-3,0	0,5

T_2 – это результат климатического районирования и выделения на территории России трех районов: район А – южное побережье Крыма со значением -6,5°C; район Б – включает всю Европейскую территорию РФ, Западную Сибирь, Чукотку, Камчатку (исключая западное побережье) со значением -3,0°C ; район В – входит большая часть Восточной Сибири, Приморский край и горные районы страны со значением 0,5°C [1].

Таблица 3 — Коэффициенты K_s для пересчета среднемесячных сумм прямой радиации с горизонтальной поверхности S' на вертикальную

Градусы с. ш.		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>Южная ориентация</i>													
40		2,15	1,50	0,92	0,51	0,28	0,19	0,23	0,39	0,71	1,20	1,85	2,40
50		3,50	2,20	1,30	0,73	0,44	0,34	0,38	0,60	1,00	1,75	2,90	4,10
60		7,20	3,50	1,85	1,03	0,64	0,50	0,56	0,83	1,44	2,60	5,50	
70				3,20	1,44	0,86	0,64	0,72	1,10	2,20	5,35		
<i>Восточная и западная ориентации</i>													
40	В	0,55	0,50	0,46	0,44	0,42	0,40	0,44	0,41	0,46	0,50	0,48	0,54
	З	0,56	0,54	0,48	0,40	0,35	0,34	0,40	0,42	0,43	0,42	0,48	0,54
50	В	0,68	0,65	0,61	0,53	0,48	0,46	0,47	0,49	0,56	0,62	0,66	0,86
	З	0,75	0,69	0,61	0,47	0,42	0,40	0,43	0,44	0,50	0,58	0,66	0,86
<i>Северная ориентация</i>													
40					0,01	0,04	0,08	0,06	0,02				
50					0,02	0,06	0,10	0,08	0,03				
60					0,02	0,09	0,14	0,12	0,06				
70					0,07	0,24	0,40	0,35	0,15				

Таблица 4 — Альbedo строительных материалов

Наименование материалов и тип	Свойства поверхности	Цвет поверхности	Альbedo, %
Кирпич	Гладкая	Белый	70
		Розовый	50
		Темно-розовый	30
	Шероховатая	Коричневый	10
	Силикатный	Светлый	45-60
Бетонная панель	Шероховатый	Белый	70
Рубероид		Темно-коричневый	12
Оцинкованная сталь		Светло-серый	35
Черепица		Светло-красный	40

Таблица 5 — поправка к температуре наружной поверхности стен за счет радиации

$B_{\text{в}}$ ккал/ч, м ²	0	20	32	45	57	70	83	96	109	121	134	146
$B_{\text{в}}$ ккал/мес, см ²	0	1,3	2,2	3,2	4,2	5,2	6,2	7,1	8,0	9,0	9,8	10,8
Δt_c	-0,6	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0

Таблица 6 — Коэффициент $k(z_e)$, учитывающий изменение ветрового давления

Высота над поверхностью земли, м	Тип местности		
	А	В	С
≤ 5	0,75	0,50	0,40
10	1,00	0,65	0,40
20	1,25	0,85	0,55
40	1,50	1,10	0,80
60	1,70	1,30	1,00
80	1,85	1,45	1,15
100	2,00	1,60	1,25
150	2,25	1,90	1,55
200	2,45	2,10	1,80
250	2,65	2,30	2,00
300	2,75	2,50	2,20
350	2,75	2,75	2,35
≥ 480	2,75	2,75	2,75

А— открытое побережье морей, озер, водохранилищ, а также пустыня, степь, лесотундра, тундра;

В— территория города, лесной массив и прочая местность, покрытая препятствиями высотой более 10 м;

С— городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м.

Таблица 7 — Нормативная продолжительность инсоляции

Широта	Период	Нормативная продолжительность инсоляции в день
Более 58° с.ш.	с 22/IV по 22/VII	не менее 2,5 ч
58-48° с.ш.	с 22/III по 22/IX	не менее 2,0 ч
менее 48° с.ш.	с 22/II по 22/X	не менее 1,5 ч

Таблица 8 — Аэродинамический коэффициент давления ветра, направленного на скат крыши

15°	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1,0
	0,2	0,2	0,2		
30°	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
	0,7	0,7	0,4		
45°	0,7	0,7	0,6	-0,2	-0,3
60°	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
75°	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3