



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: «Оценка динамики специализированных климатических показателей для
строительной отрасли»

Исполнитель Земко Никита Сергеевич
(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)

« 4 » июня 2025г

Санкт-Петербург
2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Глава 1. Климатическое обслуживание строительной отрасли и физико-географические особенности города Воронеж	5
1.1 Роль государства в регулировании вопросов климатического обслуживания строительной области	6
1.2 Обеспечение климатической информации на стадии проектных работ	9
1.3 Климатическая информация на стадии эксплуатации	12
1.4 Физико-географические особенности города Воронеж	15
Глава 2. Анализ динамики метеорологических характеристик в строительной отрасли.....	19
2.1 Динамика температуры воздуха и почвы	19
2.2 Особенность режима осадков	24
2.3 Характеристика ветровой и снеговой нагрузки (режим ветра и снега)	28
Глава 3. Расчет специализированных климатических данных для строительной отрасли	38
3.1 Специализированные температурные характеристики.....	38
3.2 Расчет косых дождей	44
3.3 Расчет ветровой и снеговой нагрузок	46
Заключение	48
Список использованных источников	49

Введение

Строительная отрасль играет ключевую роль в формировании условий жизни человека. В любом населенном пункте — от мегаполиса до небольшого села — ежедневно появляются новые здания, восстанавливаются старые, проводятся реконструкции, разрабатываются проекты и ведется эксплуатация построек.

Эффективное и безопасное строительство невозможно без учета климатических и метеорологических факторов. Скорость и направление ветра, температурные и влажностные режимы, уровень солнечной радиации, частота опасных погодных явлений, а также типичные осадки — все это критически важно при проектировании и возведении объектов. Понимание значимости климатических параметров особенно важно в контексте строительной климатологии. Чтобы грамотно интегрировать метеоданные в строительный процесс, необходимо учитывать предполагаемый срок службы здания, его функциональное назначение и требуемые эксплуатационные характеристики.

Современные достижения в области климатологии и строительной физики обеспечивают возможность комплексной и научно обоснованной оценки климатических условий на этапе проектирования и строительства зданий. Климат региона оказывает непосредственное влияние на размещение жилых и производственных объектов, выбор типов застройки, параметры улично-дорожной сети, а также на эксплуатационные характеристики и срок службы сооружений. Конструктивные решения, включая выбор материалов и инженерных систем, в значительной степени определяются спецификой климатических условий конкретного региона.

Целью работы является оценка динамики специализированных климатических показателей для строительной отрасли в городе Воронеже.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Изучить вопрос климатического обслуживания строительной отрасли и оценить физико-географические особенности города Воронеж

- 2) Провести анализ метеорологических характеристик, влияющих на строительную отрасль
- 3) Рассчитать специализированные климатические показатели для строительной отрасли

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

Глава 1. Климатическое обслуживание строительной отрасли и физико-географические особенности города Воронеж

Строительная индустрия принадлежит к числу важнейших объектов климатического обслуживания. Решения, обусловленные климатическими факторами, влияют на безопасность и экономику строительства и сопряжены с существенными рисками, которые возрастают в условиях изменения климата. Климатическая информация используется на различных стадиях жизненного цикла зданий и сооружений – при проектировании, организации строительных работ и непосредственной эксплуатации построенных объектов.

К основным задачам, требующим учета климатических данных, относятся: выбор архитектурно-планировочных решений, проектирование оснований и фундаментов, ограждающих конструкций зданий, расчет систем отопления, вентиляции и кондиционирования, проектирование наружных сетей, а также планирование технологий производства строительных работ. Для решения этого широкого круга задач необходимы сведения о многих метеорологических величинах – температуре наружного воздуха и грунта, количестве атмосферных осадков, скорости ветра, солнечной радиации, влажности воздуха и об опасных явлениях погоды. На основе исходных метеоданных определяются специализированные климатические показатели, применяемые на различных этапах инженерных расчетов в строительстве. Выбор таких показателей согласуется с принятыми методиками инженерных расчетов, основанных на изучении физических процессов, связанных со строительством и эксплуатацией зданий [11].

В итоге климатическое обслуживание строительства представляет собой комплекс мероприятий по получению, обработке и предоставлению потребителям (проектировщикам, строительным организациям, эксплуатационным службам) всей необходимой климатической информации для принятия оптимальных технических решений [12]. Главная цель государственной системы климатического обслуживания – информационно-аналитическое обеспечение

адаптации экономики (в том числе строительной отрасли) к текущему и прогнозируемому состоянию климата [11].

Значительная часть специализированных климатических показателей для строительства закреплена в государственно-нормативных документах. В России разработаны и применяются обязательные Строительные нормы и правила (СНиП) и актуализированные Своды правил (СП), которые устанавливают нормативные значения климатических характеристик для целей проектирования. Например, в СНиП 23-01-99* «Строительная климатология» СП 131.13330.2020 содержатся климатические параметры, необходимые при проектировании зданий, сооружений и инженерных систем во всех регионах страны [2]. Данные такого рода включают температурные режимы, условия влажности, характеристики ветра и т.д., а в СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия» СП 20.13330.2016 представлены нормы снеговой, ветровой и гололедной нагрузок с учетом региональных климатических особенностей [3]. Таким образом, государство через систему стандартизации регулирует порядок учета климатических факторов в строительстве, обеспечивая единые требования по всей стране.

1.1 Роль государства в регулировании вопросов климатического обслуживания строительной области

Государственное регулирование играет ключевую роль в климатическом обслуживании строительной отрасли. Оно проявляется прежде всего в разработке и внедрении обязательных нормативных документов (СНиП, СП, ГОСТ), определяющих перечень и значения климатических показателей, подлежащих учету при проектировании и строительстве [11]. Установленные государством нормы гарантируют, что во всех регионах страны сооружения будут спроектированы с учетом местных климатических условий, что напрямую влияет на их надежность, безопасность и энергоэффективность. Так, в действующий свод правил по строительной климатологии включены расчетные метеорологические параметры практически для любого населенного пункта России – от средних и

экстремальных температур воздуха до характеристик ветра и осадков – которые обязательны для применения проектировщиками.

Нормативные документы регулярно актуализируются государственными органами (Минстрой России) по мере накопления новых климатических данных и появления особых требований. Показательный пример – оперативное обновление СП «Строительная климатология» после изменения границ страны. В 2015 году Министерство строительства РФ выпустило приказ о корректировке данного свода правил в связи с вхождением Республики Крым в состав России. В новую редакцию были включены климатические данные по Крыму и Севастополю, обеспечив проектировщиков необходимыми расчетными параметрами для данного региона. Разработчиком изменений выступил профильный научно-исследовательский институт, а сами изменения прошли регистрацию в Росстандарте [13]. Это позволило в кратчайшие сроки интегрировать климатические особенности нового субъекта РФ в единую нормативную базу. Как отметил представитель Минстроя, внесенные изменения обеспечивают территорию Крыма расчетными метеорологическими параметрами, климатическими характеристиками и специфическим климатическим зонированием, применяемыми при проектировании зданий, систем отопления, вентиляции, водоснабжения, а также при планировке и застройке населенных пунктов. Таким образом, государство своевременно реагирует на необходимость расширения климатических данных и поддерживает актуальность норм.

Кроме территориального расширения, государственное регулирование учитывает и глобальные тенденции изменения климата, отражая их в нормативных требованиях. Например, обновленная редакция СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» учла общее повышение температурных показателей климата за последние десятилетия [14]. С одной стороны, это дало возможность оптимизировать (несколько снизить) нормативную ресурсоемкость отдельных конструкций и инженерных систем благодаря смягчению расчетных зимних условий. С другой стороны, для северных регионов, где наблюдается деградация вечномёрзлых грунтов, в нормы были включены требования по проведению дополнительных мероприятий для сохранения несущей способности

фундаментов и ограничения деформаций оснований. Таким образом, нормативная база стала учитывать риск размораживания грунтов и связанных с этим просадок зданий, что чрезвычайно важно для безопасности эксплуатации объектов на Крайнем Севере. В целом, внесение данных изменений позволит повысить надежность строительства в условиях меняющегося климата, а также избежать избыточности в проектах там, где климат стал мягче [14].

Следует отметить, что многие отечественные стандарты в области строительной климатологии согласовываются с международными. В настоящее время ведется большая работа по сопоставлению национальных норм с требованиями международных стандартов в части учета климатических факторов. Это необходимо как для обеспечения высокого уровня безопасности и комфорта, так и для возможности применения передовых инженерных решений. Государство, таким образом, задает рамки климатического обслуживания через систему обязательных норм, контролирует их актуализацию на основе данных Росгидромета и научных исследований, а также стимулирует адаптацию строительной отрасли к меняющимся природно-климатическим условиям.

Наличие достоверных и официально утвержденных климатических параметров позволяет проектировщикам обосновывать градостроительные и технические решения с точки зрения обеспечения безопасного и комфортного проживания людей, а также достижения целей энергосбережения. Государственная политика в этой сфере направлена на то, чтобы климатическое обслуживание строительства способствовало возведению долговечных, энергоэффективных и устойчивых к климатическим воздействиям зданий.

1.2 Обеспечение климатической информации на стадии проектных работ

На стадии проектирования объектов строительства климатическая информация используется в качестве исходных данных, определяющих ключевые технические решения. Фактически, строительная климатология лежит в основе всего процесса проектирования зданий и сооружений. От правильности учета климатических факторов зависят архитектурно-планировочные решения, конструктивные схемы и инженерное оборудование зданий, а также их энергоэффективность и комфортность для людей. В условиях, когда строительная отрасль потребляет до 55–60% всех используемых в стране топливно-энергетических ресурсов, особое значение приобретает оптимизация проектов с точки зрения климата [1]. Поэтому уже на этапе замысла и проектирования необходимо обеспечить предоставление проектировщикам максимально полного комплекта климатических показателей, релевантных для конкретного района строительства.

Климатическое обеспечение проектных работ реализуется через систему нормативных показателей, включаемых в проектную документацию. В первую очередь определяется климатический район и подрайон строительства по соответствующим картам климатического районирования территории (всего на основе СНиП выделяется 4 климатических района и до 16 подрайонов по сочетанию показателей зимней температуры, летней температуры, скорости ветра и влажности) – это позволяет учесть обобщенные особенности климата местности. Далее, в соответствии с климатическим районом и конкретным населенным пунктом строительства, из нормативных таблиц берутся расчетные значения метеорологических параметров. Свод правил «Строительная климатология» содержит обширные таблицы и схемы, где приведены данные практически для всех регионов РФ [2]. К ним относятся, в частности: температура воздуха наиболее холодной пятидневки заданной обеспеченности (расчетная экстремально низкая температура для отопления), абсолютный минимум температуры, средняя температура самого холодного и самого теплого месяцев, продолжительность отопительного периода и градусо-сутки отопительного

периода, средние температуры и влажность воздуха в период охлаждения, нормативная глубина сезонного промерзания грунта, характеристики ветра (средняя скорость и направление ветра, скорость наиболее сильных порывов), снеговой покров (средняя высота, расчетная снеговая нагрузка) и др. Для инженерных систем водоотведения могут учитываться интенсивность ливневых дождей определенной обеспеченности и количество осадков в теплый период года. Все эти климатические параметры представлены в официальных источниках; если в таблицах норм для данного района отсутствуют какие-либо данные, допускается принимать их по ближайшему населенному пункту с аналогичными природными условиями [2] или получать непосредственно в органах Росгидромета.

Использование указанных данных на стадии проекта необходимо для множества расчетов. На их основе определяется требуемый уровень теплозащиты здания (толщина и состав утеплителя ограждающих конструкций), рассчитываются мощности систем отопления и кондиционирования, параметры вентиляции и осушения воздуха, оцениваются тепlopоступления от солнечной радиации и внутренние тепlopотери. Так, располагая данными о температуре наиболее холодной пятидневки и продолжительности отопительного периода, инженер-теплотехник рассчитывает потребность здания в отоплении и мощности отопительных приборов. Зная суммарную солнечную радиацию и угол наклона солнечных лучей, проектировщик ограждающих конструкций проверяет требования по инсоляции и естественному освещению помещений. Параметры влажности наружного воздуха и количество осадков влияют на выбор конструкций кровли и наружной гидроизоляции, а также на решения по вентиляции (во избежание конденсации). Расчетная скорость ветра и ветровое давление используются конструкторами при назначении прочностных характеристик элементов зданий, особенно высотных и протяженных (с учетом ветрового района по карте). Расчет снеговой нагрузки на покрытия определяется по нормам в зависимости от географического района строительства (снегового района), и эти данные закладываются при проектировании несущих конструкций кровли и перекрытий. Отдельно учитываются температурные воздействия на

материалы – амплитуды колебаний температуры, число переходов через 0 °С – они важны для выбора марок бетона, расчетов температурных швов в длинных зданиях, предотвращения трещинообразования и т.д. Таким образом, на стадии проектных работ формируется перечень исходных климатических параметров для каждого раздела проекта.

Все собранные климатические характеристики интегрируются в проектную документацию. Проектировщики, располагая достоверными климатическими параметрами, обосновывают оптимальность принятых проектных решений с позиций обеспечения безопасных и комфортных условий в зданиях, долговечности конструкций, а также энергосбережения. Например, для каждого проектируемого здания в составе пояснительной записки обычно приводится таблица «Климатические параметры района строительства», где перечислены ключевые показатели (температуры, ветровые нагрузки, снеговая нагрузка, сейсмичность и др.) согласно нормам. Далее на эти параметры ссылаются в расчетах – так обеспечивается прослеживаемость и обоснованность решений. В помощь проектировщикам выпускаются специальные справочные пособия и климатические атласы. В них содержатся дополнительные сведения о климате, иногда более детально, чем в кратких таблицах СНиП. Так, «Справочное пособие по строительной климатологии» к СНиП 23-01-99 включает расширенные данные о климатических параметрах, в том числе с учетом глобального изменения климата [1]. Подобные издания формируются при участии профильных вузов и научных организаций Росгидромета, что гарантирует научную обоснованность и актуальность информации для проектирования.

Результатом качественного климатического обеспечения проекта является оптимальное здание, адаптированное к условиям местности. Правильный учет климатологии при проектировании позволяет создавать комфортные и энергоэффективные здания, потребляющие минимально необходимое количество энергии в ходе эксплуатации. Кроме того, это увеличивает срок службы сооружений, так как конструкции заранее рассчитаны на характерные для данной местности нагрузки и воздействия. Таким образом, стадия проектирования – ключевой этап, на котором реализация принципов климатического обслуживания

позволяет заложить основу для надежности и эффективности здания на протяжении всего жизненного цикла.

1.3 Климатическая информация на стадии эксплуатации

После ввода объекта в эксплуатацию роль климатической информации остается по-прежнему значимой. Во многом фактический режим эксплуатации зданий определяется климатом: от внешних температур и осадков зависят затраты на отопление зимой и кондиционирование летом, от ветровых воздействий – теплопотери через ограждения, от влажности и дождей – состояние фасадов и кровли. Здание спроектировано и построено с расчетом на определенные климатические условия, однако реальный климат в каждый конкретный год может отклоняться от статистической нормы. Поэтому эксплуатационные службы должны отслеживать погодные факторы и при необходимости корректировать режимы работы инженерных систем и проводить профилактические мероприятия.

Особенно важно учитывать климатическую специфику при эксплуатации в суровых или изменяющихся условиях. В регионах с обильными снегопадами требуется регулярный контроль и очистка снега с крыши, чтобы нагрузка не превысила расчетную и не вызвала повреждения конструкций. Сильный ветер диктует необходимость наблюдения за состоянием фасадов, остекления, мачт и дымовых труб. Высокая влажность и частые осадки могут приводить к переувлажнению стен; при сильном ветре дождь интенсивно смачивает поверхности, а последующее их охлаждение и промерзание воды в порах материалов оказывают разрушительное воздействие на конструкции [11]. Таким образом, увлажнение ограждающих конструкций с повторяющимся замерзанием существенно снижает долговечность здания и увеличивает расходы на ремонт и содержание. Уже в настоящее время отмечается, что учащение циклов замораживания-оттаивания в холодное время года приводит к ускоренному старению зданий и требует роста эксплуатационных затрат [11]. Управляющим компаниям приходится планировать дополнительные мероприятия – нанесение

защитных покрытий, утепление проблемных зон, ремонт стыков – исходя из фактических климатических воздействий, если они оказываются более жесткими, чем было предусмотрено проектом.

В современных условиях особое внимание уделяется влиянию долгосрочных изменений климата на эксплуатацию зданий и сооружений. Многие существующие здания, построенные еще в середине XX века и позднее, проектировались на основе климатических параметров того времени [11]. За прошедшие десятилетия климат в ряде регионов заметно изменился: повысились среднегодовые температуры, участились экстремальные погодные явления. В результате некоторые старые здания уже не обеспечивают расчетных условий внутреннего микроклимата. В аномально жаркие летние периоды мощности систем охлаждения могут быть недостаточны, а в необычно холодные зимы температура внутри помещений падает ниже комфортной. Конструкции многих зданий испытывают нагрузки, близкие к предельным: их прочность «работает» за счет запаса, заложенного при проектировании, но новые экстремальные воздействия не оставляют резерва прочности, что повышает вероятность повреждений и аварий [11]. Таким образом, изменение ключевых климатических показателей напрямую влияет на надежность уже построенных зданий.

Строительная отрасль сталкивается с необходимостью адаптации существующего фонда: усиления конструкций, модернизации отопительных и охлаждающих систем, улучшения теплоизоляции и т.д., чтобы здания сохраняли безопасность и комфорт в новых климатических реалиях. Примером влияния изменения климата на эксплуатацию может послужить ситуация в районах вечной мерзлоты. Многие инженерные сооружения на Крайнем Севере опираются на грунты, находящиеся в мерзлом состоянии, и были рассчитаны на эксплуатацию в определенном диапазоне температур грунта. Однако в последние десятилетия фиксируется устойчивое повышение температуры почвы и увеличение глубины сезонного протаивания грунтов в арктических регионах [11]. Это приводит к потере прочности и уменьшению несущей способности фундаментов. В результате возрастают неравномерные деформации оснований сооружений,

провоцируя просадки и повреждения конструкций. По данным наблюдений, в районах Крайнего Севера уже отмечено значительное увеличение числа зданий с повреждениями, вызванными просадками фундамента [11]. Для поддержания их эксплуатационной пригодности требуются дорогостоящие меры – например, системы терморегулирования грунта (сезонное промораживание), укрепление фундаментов, постоянный мониторинг состояния грунтов. Государство осознает масштаб проблемы: в нормативных документах и руководствах по эксплуатации объектов на мерзлоте появились требования учитывать прогнозируемое потепление и разрабатывать защитные мероприятия. Данный пример демонстрирует, что климатическая информация является важнейшим элементом обеспечения долговечности сооружений на этапе их долгосрочной эксплуатации.

Таким образом, на стадии эксплуатации климатическое обслуживание направлено прежде всего на адаптацию зданий и инфраструктуры к фактическим и меняющимся условиям окружающей среды. Регулярный анализ климатических данных позволяет заблаговременно выявлять новые риски для зданий и принимать упреждающие меры. В Российской Федерации разработаны стратегические документы, ставящие задачи адаптации строительства к изменению климата [12]. Учет особенностей происходящих и ожидаемых климатических изменений, а также специфики их воздействий на объекты строительства в различных регионах, сейчас рассматривается как неотъемлемая часть разработки и реализации любых инвестиционных проектов отрасли. То есть, при планировании новых объектов сразу закладываются требования, учитывающие климат последующих лет, так как за время службы здания климат может измениться, что нельзя игнорировать. Одновременно для уже эксплуатируемых зданий разрабатываются планы мероприятий по повышению их устойчивости: усиление конструкций, улучшение теплоизоляции, установка более мощных инженерных систем, где необходимо, и т.д. Расширение масштабов строительства, внедрение новых архитектурно-планировочных решений, повышение требований к качеству жилища и энергоэффективности – все эти факторы дополнительно требуют постоянного развития методологии оценки и

учета климатического воздействия на здания и сооружения [11]. Современное климатическое обслуживание строительной области – это система, которая призвана сопровождать объект на всех этапах его жизни, обеспечивая его соответствие климатическим вызовам и условиям. Благодаря этому достигаются долгосрочная надежность, безопасность и экономическая эффективность зданий и сооружений в разнообразных климатических зонах России.

1.4 Физико-географические особенности города Воронеж

Воронеж находится в европейской части России, примерно в 500 км к югу от Москвы, на границе лесостепной и степной зон. Город расположен на стыке Среднерусской возвышенности и Окско-Донской низменности, что обуславливает контрастный рельеф местности [16].

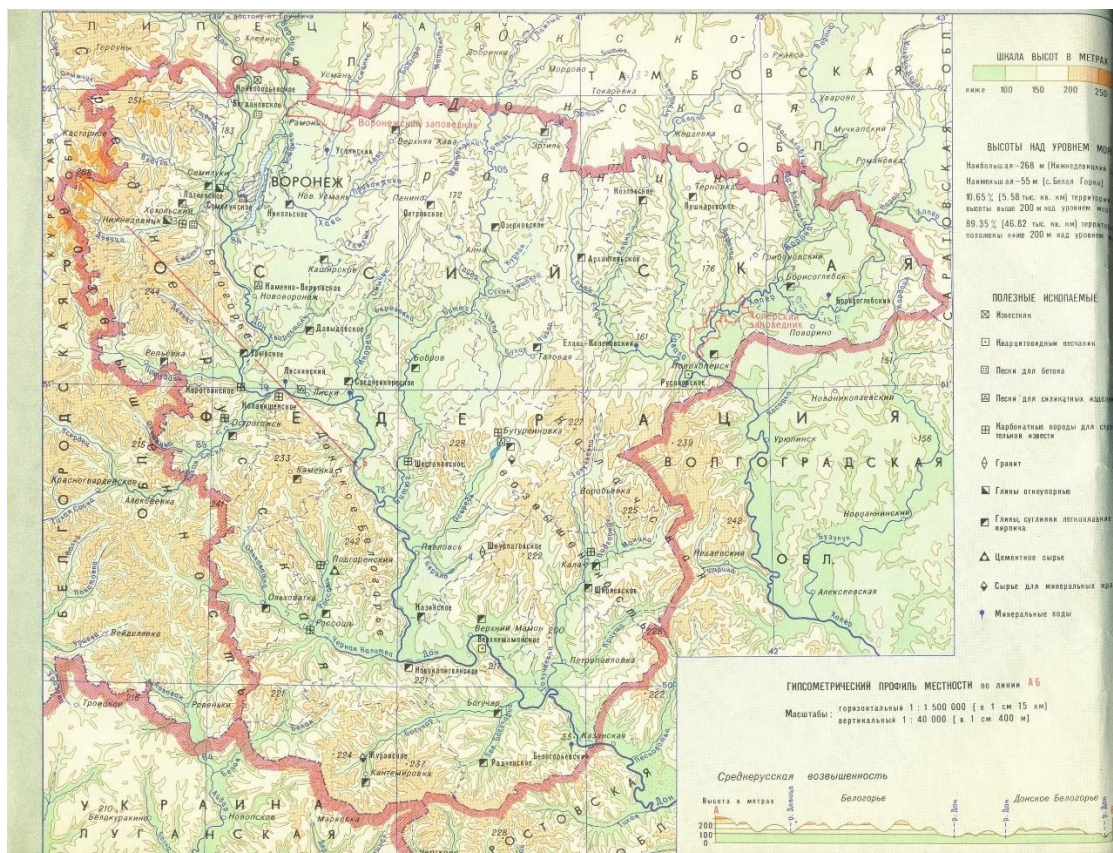


Рисунок 1.1 – Карта рельефа Воронежской области [17]

Правобережная часть Воронежа раскинулась на холмистом плато высотой от 100 до 160 м над уровнем моря и характеризуется сильной расчлененностью оврагами и балками, тогда как левобережная часть представляет собой низкую равнинную террасу. Через город протекает река Воронеж, в черте города перегороженная плотиной, образующей Воронежское водохранилище, которое делит город на две части. Правый берег реки высокий и крутой, а левый берег напротив – пологий и низкий. Разница высот между берегами достигает десятков метров: правый берег поднимается на 50–70 м над уровнем водохранилища, а левобережье – лишь на 20–30 м. Подобный рельеф формировался под влиянием тектонических движений: территория правобережья приподнимается, тогда как левобережная равнина проседает, что сопровождается развитием овражно-балочной сети и, по некоторым данным, приводит к незначительным сейсмическим колебаниям грунта [15]. В целом рельеф Воронежа благоприятен для градостроительства на плато, однако требует учета устойчивости склонов и защиты от эрозии в овражистых районах.

Климат Воронежа умеренно континентальный. Для него характерны четко выраженные сезоны года и значительные годовые амплитуды температуры – порядка 25 °С между средними температурами января и июля. Осадки распределяются относительно равномерно в течение года: максимум приходится на лето, а минимальные значения – в позднюю осень и конце зимы. Зимой устанавливается снежный покров, обычно с середины ноября по март; однако зимы мягче, чем в восточных районах на той же широте, благодаря атлантическому влиянию. Средняя температура января в Воронеже составляет около –8...–9 °С, но возможны оттепели до +3...+5 °С или, напротив, резкие похолодания при вторжении арктического воздуха (температура может опускаться до –30 °С и ниже в экстремальные периоды). Лето теплое и длительное: средняя температура июля около +20...+22 °С, нередко жаркие периоды с дневными максимумами выше +30 °С. Абсолютный максимум температуры, зарегистрированный в Воронеже, достигает +40...+41 °С [15].

Летние месяцы обычно самые влажные, но в отдельные годы при господстве сухих воздушных масс из Центральной Азии устанавливается засушливая погода. В целом, климат города формируется под воздействием как морских, так и континентальных воздушных масс. Преобладают ветры западных направлений. Западный перенос приносит с Атлантики влажный воздух, обуславливающий большую часть осадков. Зимой атлантические циклоны нередко вызывают оттепели и метели, а летом – прохладную дождливую погоду. Реже наблюдаются южные ветры, а также северные и восточные. Северные (арктические) воздушные массы беспрепятственно проникают в регион, так как горные преграды отсутствуют на пути к Воронежу [15]. Поэтому зимой возможны резкие похолодания, а весной – поздние заморозки при вторжении арктического воздуха. Восточные и юго-восточные ветры приносят континентальный воздух из внутренних районов Евразии: зимой – очень холодный и сухой, летом – раскаленный сухой воздух из Казахстана и Средней Азии, способный вызывать сильную жару и засухи. Таким образом, климатические условия Воронежа достаточно разнообразны: наряду с умеренно холодной влажной зимой бывают как мягкие зимние периоды, так и суровые морозы; летом чередуются умеренно теплые влажные периоды с засушливыми жаркими интервалами [15]. Эти особенности климата необходимо учитывать при строительстве – для обеспечения комфортного микроклимата в зданиях и устойчивости сооружений к экстремальным погодным явлениям.

Город Воронеж располагается в пределах Центрально-Черноземного района, почвенный покров которого представлен преимущественно черноземами. В Воронежской области около 80% территории занимают разные типы черноземных почв – от выщелоченных и оподзоленных черноземов лесостепной зоны (на севере региона) до обыкновенных и южных черноземов степной зоны (на юге области) [7]. Сам город находится ближе к северной, лесостепной части, поэтому для его окрестностей характерны типичные и выщелоченные черноземы, отличающиеся высокой плодородностью и значительной мощностью гумусового слоя. Для строительства такой почвенный профиль означает наличие мягкого

верхнего слоя, который обычно снимается при закладке фундаментов. На повышенных правобережных участках, где на поверхность выходят меловые породы, почвенный слой может быть тоньше, а в составе грунтов присутствуют обломки мела и известняка. Меловой фундамент (Донское Белогорье) характеризуется потенциальной закарстованностью: в пределах области встречаются карстовые формы, что предполагает необходимость учета геологических изысканий при строительстве на правом берегу [8]. В низинах и поймах распространены пойменные перегнойно-глеевые почвы, нередко избыточно увлажненные. Грунтовые воды ближе к реке залегают неглубоко, что требует гидроизоляции подземных конструкций. Разнообразие почвенно-грунтовых условий Воронежа (от прочных оснований мелового плато до рыхлых черноземов и влажных аллювиальных грунтов) предъявляет дифференцированные требования к проектированию фундаментов и дренажных систем. В частности, необходимо учитывать возможную просадочность лессовидных суглинков на склонах, коррозионную активность почв к бетону, сезонное промерзание грунта и другие факторы. Знание этих особенностей позволяет обоснованно подходить к проектированию зданий и инженерных систем: от выбора материалов, рассчитанных на температурные перепады, до конструктивных решений, учитывающих ветровые и снеговые нагрузки, рельефную дренажную сеть и несущую способность грунтов. Каждый из рассмотренных факторов должен быть учтен при планировании и возведении объектов, что обеспечивает их долговечность и безопасность в конкретных природно-климатических условиях Воронежа.

Глава 2. Анализ динамики метеорологических характеристик в строительной отрасли

2.1 Динамика температуры воздуха и почвы

Для оценки динамики температуры воздуха и почвы были взяты данные о среднемесячной температуре воздуха и среднемесячной температуре почвы на стандартных глубинах с научно-прикладного справочника «Климат России» от ВНИИГМИ-МЦД за 40 лет (с 1984 по 2023гг.) [10]. С их помощью были получены соответствующие графики, которые отражают изменения метеорологических величин. На рисунке 2.1 представлена динамика среднегодовой температуры воздуха в г. Воронеже за 40-летний период.

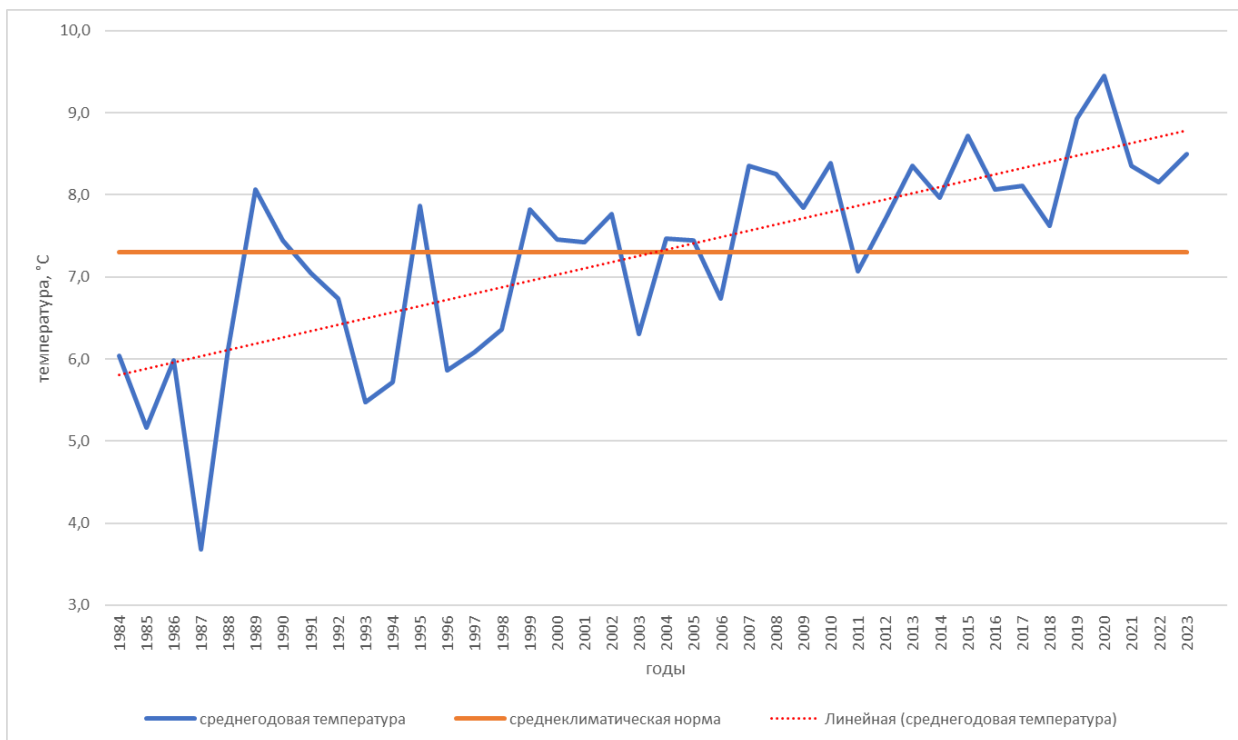


Рисунок 2.1 – Изменения значений среднегодовой температуры в городе Воронеже за 1984-2023гг.

За период с 1984 по 2023гг. наблюдается отчетливая тенденция к повышению среднегодовой температуры воздуха. В начале рассматриваемого периода (1980-е годы) среднегодовые температуры воздуха колебались в диапазоне 4–7 °С. В отдельные годы наблюдались значительные отклонения от среднего значения. В 1987 году среднемесячная температура составила 3,7 °С, что является самым низким значением за весь период наблюдения. В 1990-е годы и начале 2000-х отмечается постепенное повышение среднегодовых температур. В этот период значения температуры воздуха чаще превышают 6 °С, а в отдельные годы достигают 8 °С. При этом сохраняется определенная межгодовая изменчивость, однако общий тренд направлен на рост температурных показателей. Самые значительные изменения наблюдаются в последние двадцать лет (2004–2023 гг.). В этот временной промежуток среднегодовые температуры воздуха в большинстве случаев превышают 8 °С, а максимальное значение достигло в 2020 году и составило 9,5 °С. Линейный тренд, отображенный на графике, подтверждает наличие устойчивой тенденции к повышению среднегодовой

температуры воздуха, разница между начальными и конечными значениями составляет порядка 2–2,5 °С.

Для более детального понимания изменений температуры воздуха дополнительно рассмотрим рисунок 2.2, на котором изображен график среднемесячных температур воздуха за два двадцатилетних периода: 1984–2003 и 2004–2023 гг.

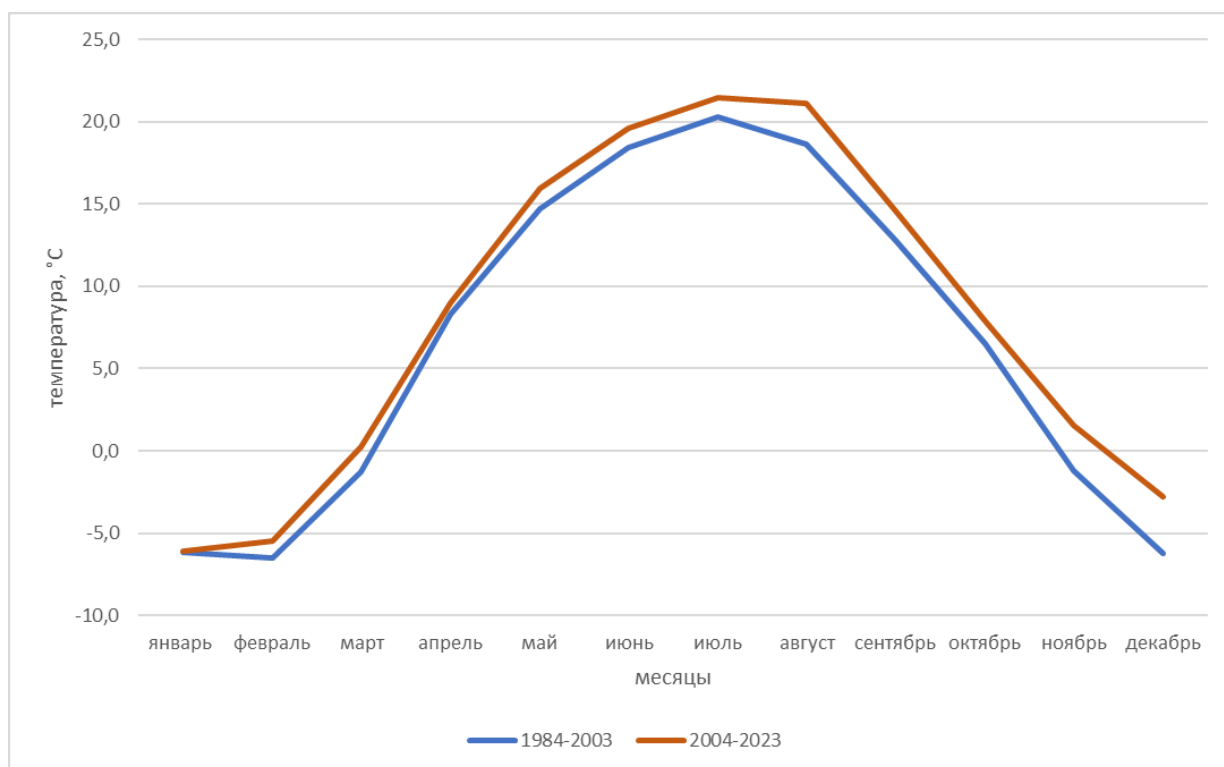


Рисунок 2.2 - График среднемесячных температур воздуха за два двадцатилетних периода: 1984–2003 и 2004–2023 гг.

Сравнение среднемесячных значений показывает, что практически во все месяцы температуры второго периода превышают значения первого периода. Особенно заметно это во вторую половину года, где разница достигает 1–3 °С, в то время как в первой половине года разница хоть и не такая значительная, но составляет 0,5–1,5 °С. Совокупность наблюдаемых изменений указывает на то, что смещение климатических характеристик региона происходит в сторону более теплого климата.

Далее мы рассмотрим изменение температурного режима почвы. Для оценки динамики температуры почвы также был построен график среднегодового хода по стандартным глубинам (рисунок 2.3), а также отдельно проанализированы изменения на глубинах 20 и 320 см (рисунки 2.4 и 2.5).

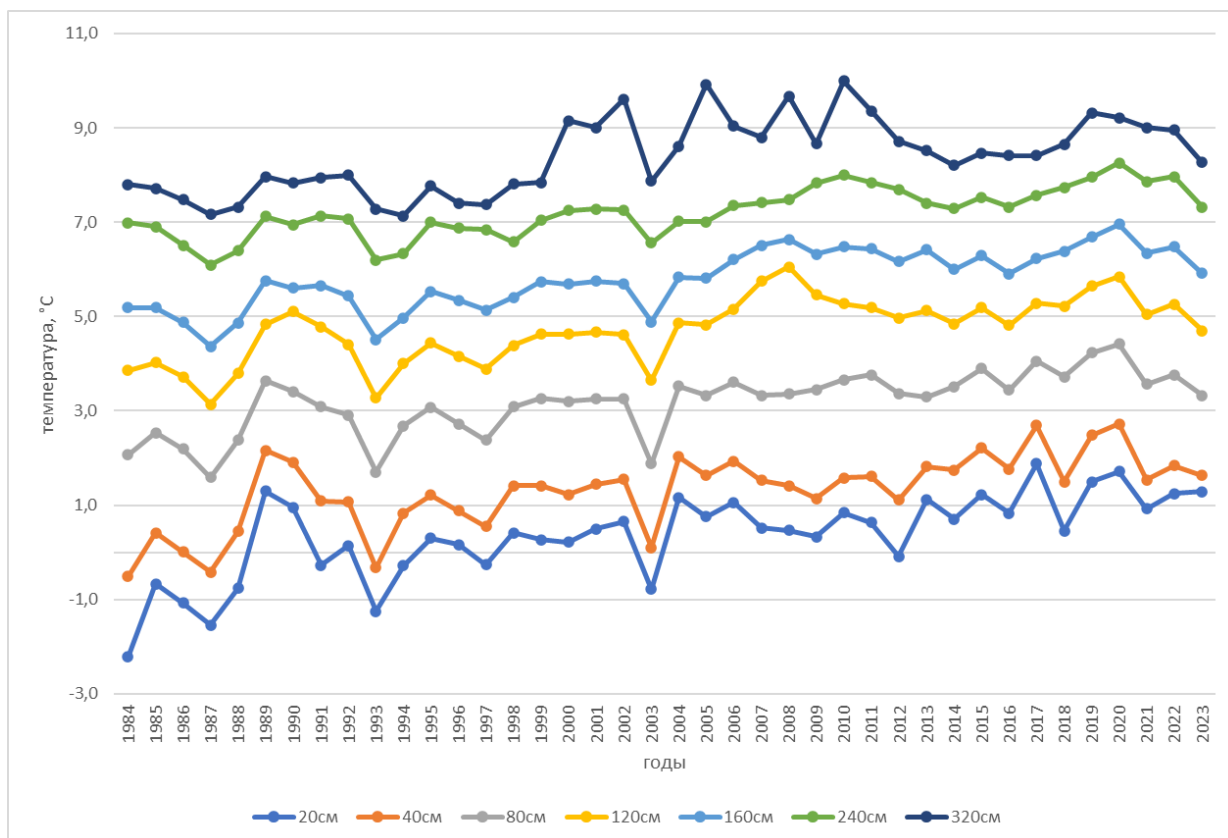


Рисунок 2.3 – Среднегодовая температура почвы по глубинам за 1984-2023 гг.

На графике видно, что во всех слоях почвы наблюдается тенденция к повышению среднегодовой температуры. Наиболее выраженное потепление отмечается в верхних слоях (20 и 40 см), на остальных глубинах значения также увеличиваются, но более плавно и с меньшей амплитудой межгодовых колебаний. Отдельно рассмотрим среднегодовой ход температур на глубинах 20 см (рисунок 2.4) и 320 см (рисунок 2.5)

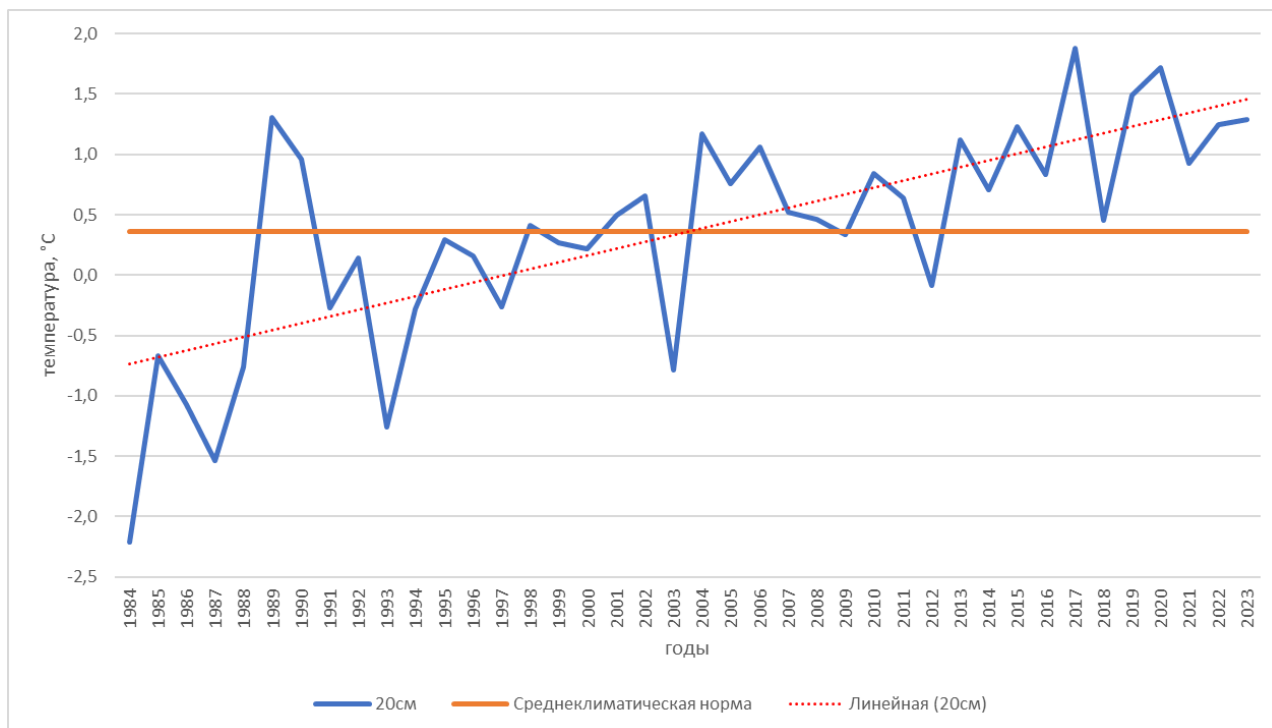


Рисунок 2.4 – Среднегодовая температура почвы на глубине 20 см за 1984-2023 гг.

На глубине 20 см наблюдается высокая амплитуда межгодовых колебаний среднегодовой температуры, что хорошо согласуется с динамикой температуры воздуха (рисунок 2.1). Это обусловлено тем, что верхние слои почвы находятся под непосредственным воздействием погодных и климатических изменений. За рассматриваемый период среднегодовая температура почвы на этой глубине увеличилась примерно на 1–1,5 °C. Линия тренда на графике подчеркивает выраженную тенденцию к дальнейшему повышению температуры в будущем.

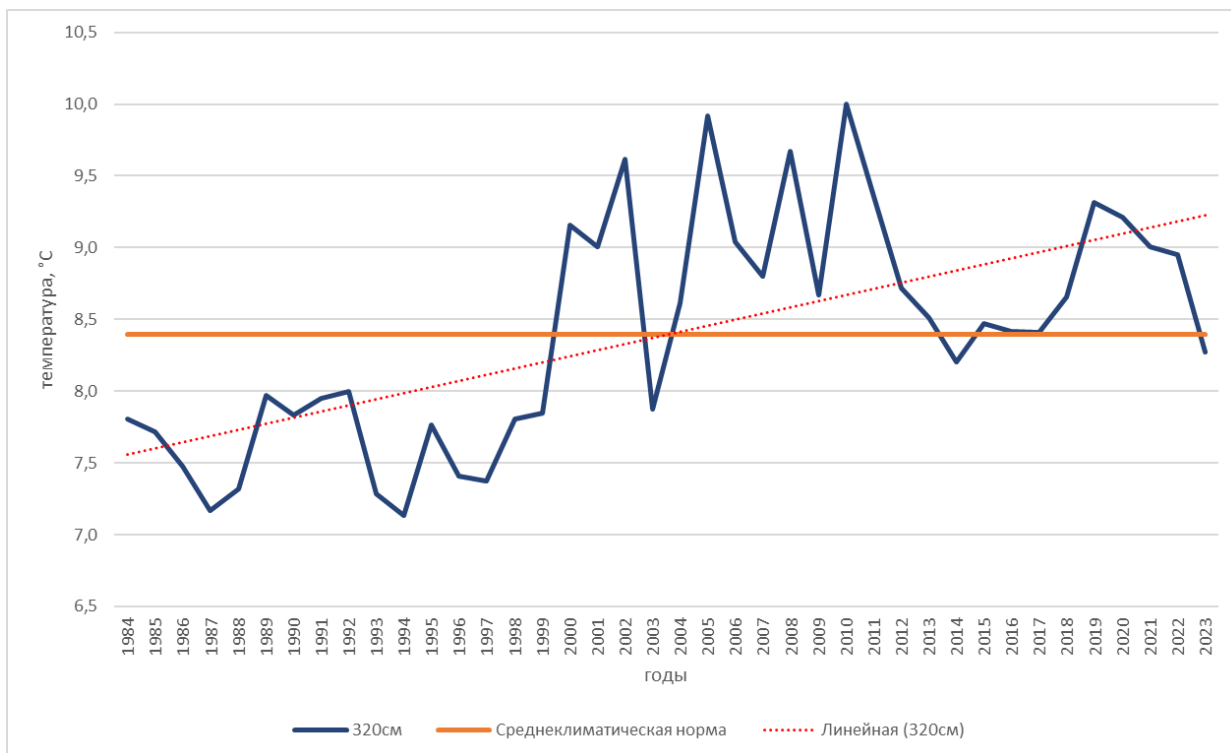


Рисунок 2.5 – Среднегодовая температура почвы на глубине 320см за 1984-2023гг.

График среднегодовой температуры почвы на глубине 320 см также указывает на наличие положительного тренда на общее повышение температуры. Однако амплитуда, в сравнении с верхними слоями почвы, меньше, ввиду тепловой инерции глубоких слоев. Несмотря на общую тенденцию к потеплению, отдельные периоды могут характеризоваться относительной стабильностью или небольшими понижениями температуры, что связано с замедленной реакцией на изменение внешних условий.

2.2 Особенность режима осадков

Анализ режима осадков производился по тому же принципу, что и анализ температурного режима. Были взяты данные о среднемесечном количестве осадков за период 1984-2023гг [10]. После чего построены соответствующие

графики. Ниже представлен график среднегодового количества осадков за исследуемый период (рисунок 2.6).

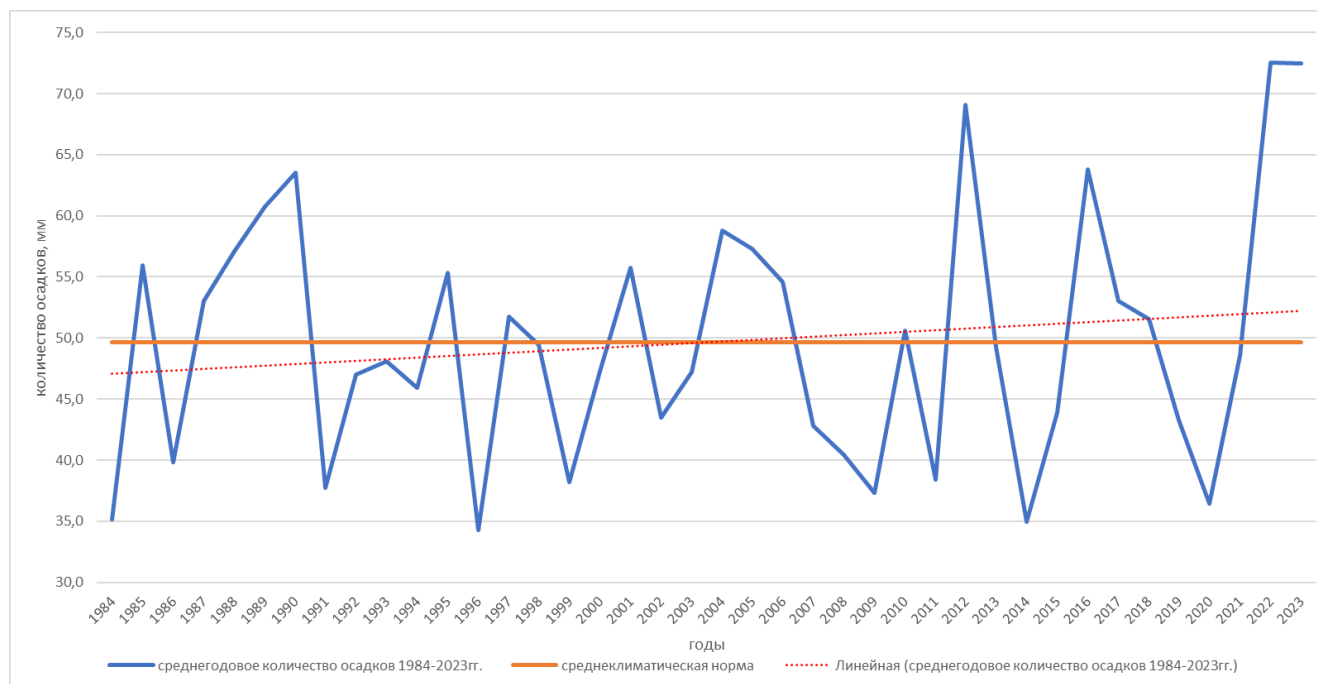


Рисунок 2.6 – Среднегодовое количество осадков за 1984-2023гг.

За период с 1984 по 2023 гг. прослеживается тенденция к увеличению среднегодового количества осадков, что подтверждается линейным трендом. Среднегодовое количество осадков за 40 лет выросло примерно на 5мм. За первые двадцать лет наблюдений (1984–2003 гг.) среднегодовое количество осадков варьировалось в пределах от 34,3 мм (1996 г.) до 63,6 мм (1990 г.). Большую часть периода осадки колебались в диапазоне 40–55 мм. Во второй половине наблюдаемого периода (2004–2023 гг.) амплитуда среднегодовых значений выросла и варьируются в пределах от 35мм (2014 г.) до 73,6мм (2022г.).

Ниже представлены графики изменения суммы осадков по сезонам за тот же период наблюдений (Рисунок 2.7-2.10).

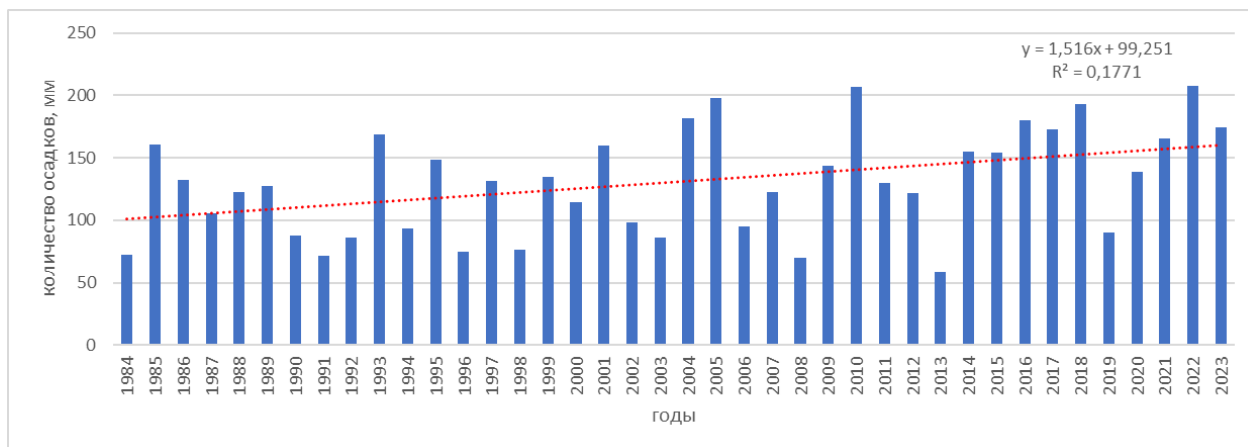


Рисунок 2.7 – Сумма осадков за зимний сезон 1984-2023гг.

Общее количество осадков зимой показывает четкую тенденцию к росту. В 1980-1990-х годах значения в основном были в пределах 70-150 мм. Начиная с 2000-х, все чаще наблюдаются сезоны с осадками выше 150 мм, а в отдельные годы до 200 мм и больше. Линейный тренд на графике подтверждает общее увеличение зимних осадков за весь период.

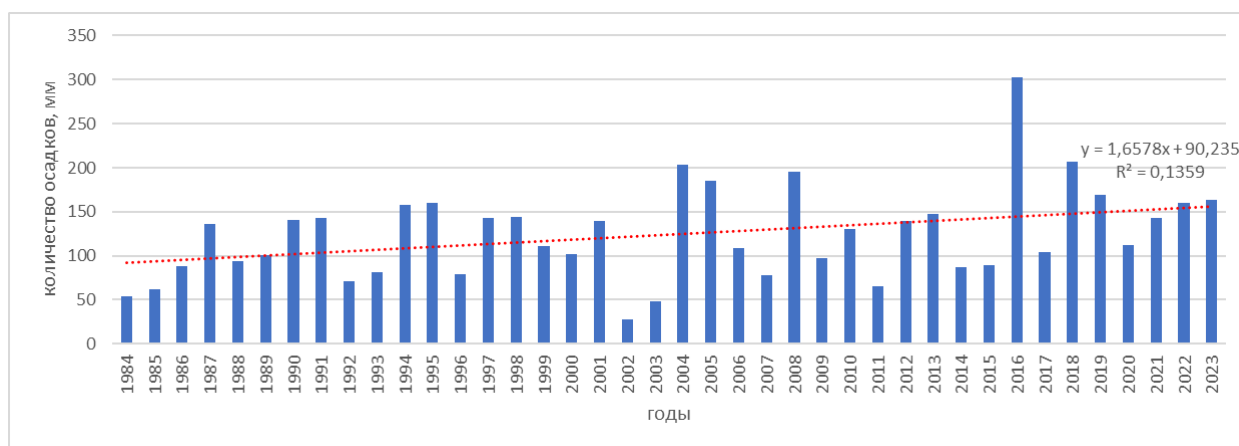


Рисунок 2.8 – Сумма осадков за весенний период 1984-2023гг.

Весной тоже заметен рост осадков. В начале наблюдений значения практически не превышали 150 мм, а в последние 15–20 лет все чаще фиксируются значения выше 150 мм. Особенно выделяется 2016 год, где сумма

осадков достигла 300 мм. В целом график показывает положительный тренд, то есть весной стало выпадать больше осадков.

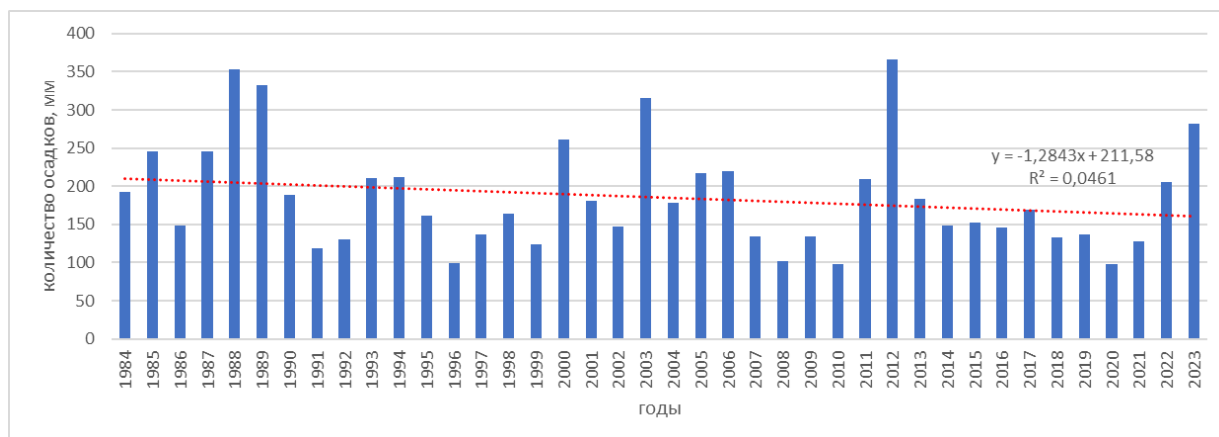


Рисунок 2.9 – Сумма осадков за летний сезон 1984-2023гг.

В летний сезон, наоборот, прослеживается снижение количества осадков. В 1980–1990-х годах часто были сезоны с 250-350 мм, а после 2000-х значения в редкие годы превышают 200мм и в основном находятся в пределах 130–180 мм. Тренд направлен вниз, что указывает на уменьшение осадков летом.

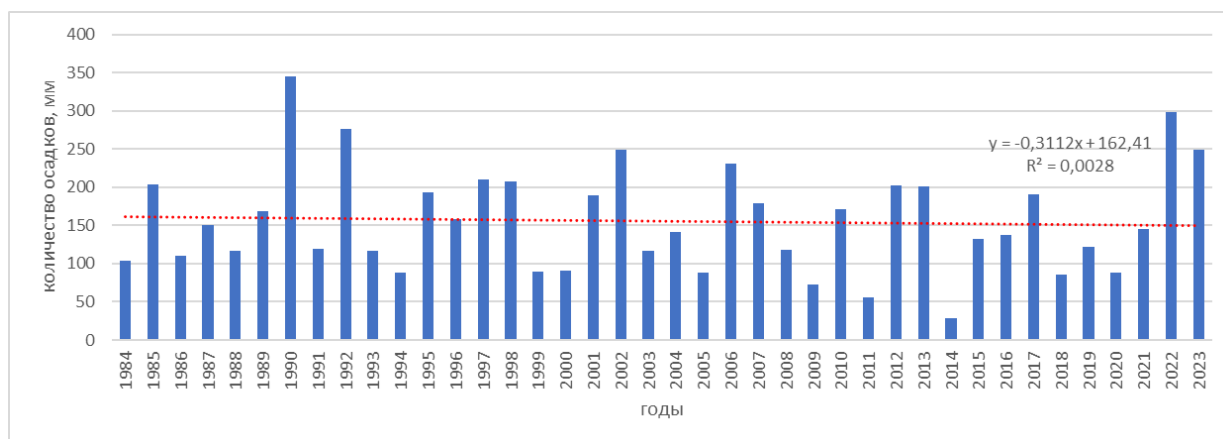


Рисунок 2.10 – Сумма осадков за осенний сезон 1984-2023гг.

Осенью заметных изменений меньше, чем в остальные сезоны, однако в последние годы наблюдается небольшое снижение общего количества осадков. В

первой половине периода сумма осадков практически не опускалась ниже 100 мм, тогда как во второй половине такие значения стали встречаться чаще, что указывает на постепенное уменьшение объема осадков в осенний сезон.

2.3 Характеристика ветровой и снеговой нагрузки (режим ветра и снега)

Для оценки режима ветра и снега были взяты среднесуточные данные о скорости и направлении ветра, а также среднемесячная высота снежного покрова за 40 лет [10]. С их помощью были получены соответствующие графики, которые отражают изменения метеорологических величин.

Ниже представлен график годового хода среднемесячной скорости ветра, осредненной за весь период наблюдения (Рисунок 2.11).

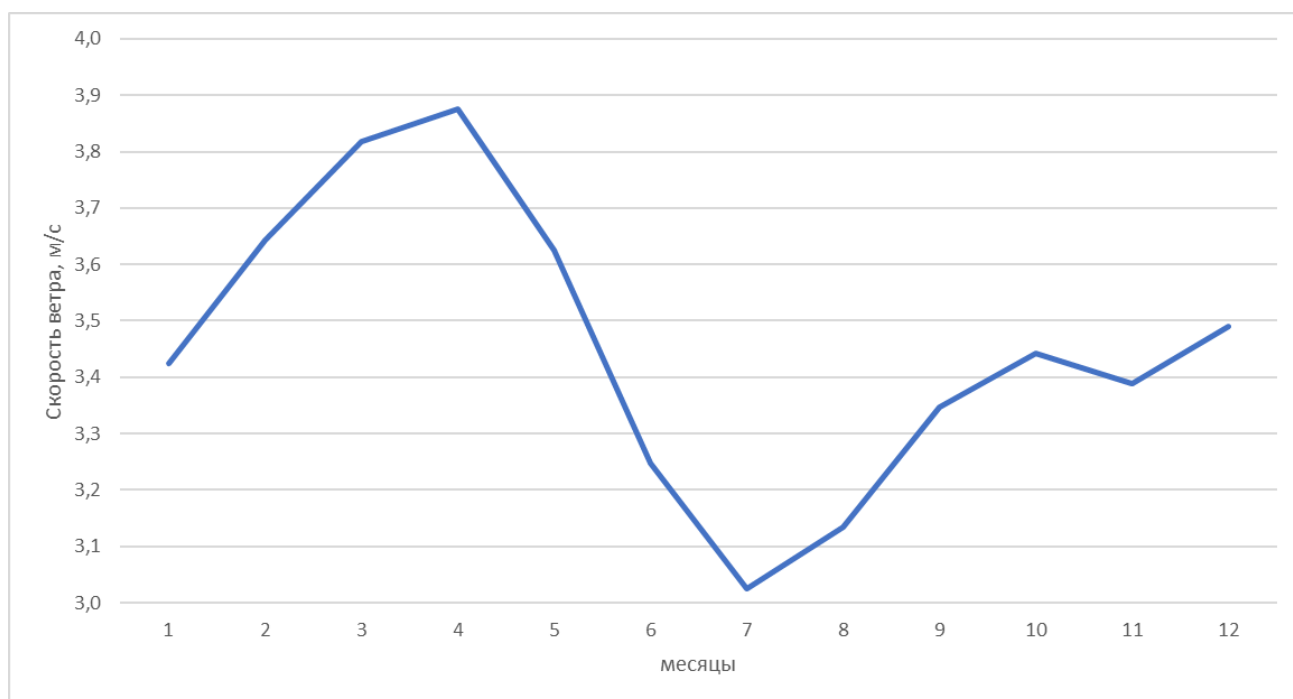


Рисунок 2.11 – Среднемесячное значение скорости ветра за период 1984-2023гг.

Наибольшие значения скорости ветра характерны для зимне-весеннего периода с января по апрель. Максимум наблюдается в апреле, где скорость

достигает около 3,9 м/с. Это указывает на то, что наиболее ветреная часть года конец зимы и начало весны. Минимальные значения приходятся на летний период, особенно июль, когда скорость ветра снижается до минимального уровня около 3,0 м/с. После июля скорость постепенно возрастает, и в осенние месяцы (с сентября по ноябрь) достигает значений около 3,3-3,5 м/с.

Поскольку наиболее ветреным месяцем оказался апрель, а наименьшие скорости наблюдаются в июле, для более детального понимания характера ветровой активности, были построены и проанализированы графики среднегодовой скорости ветра в апреле (Рисунок 2.12) и июле (Рисунок 2.13) за 40-летний период.

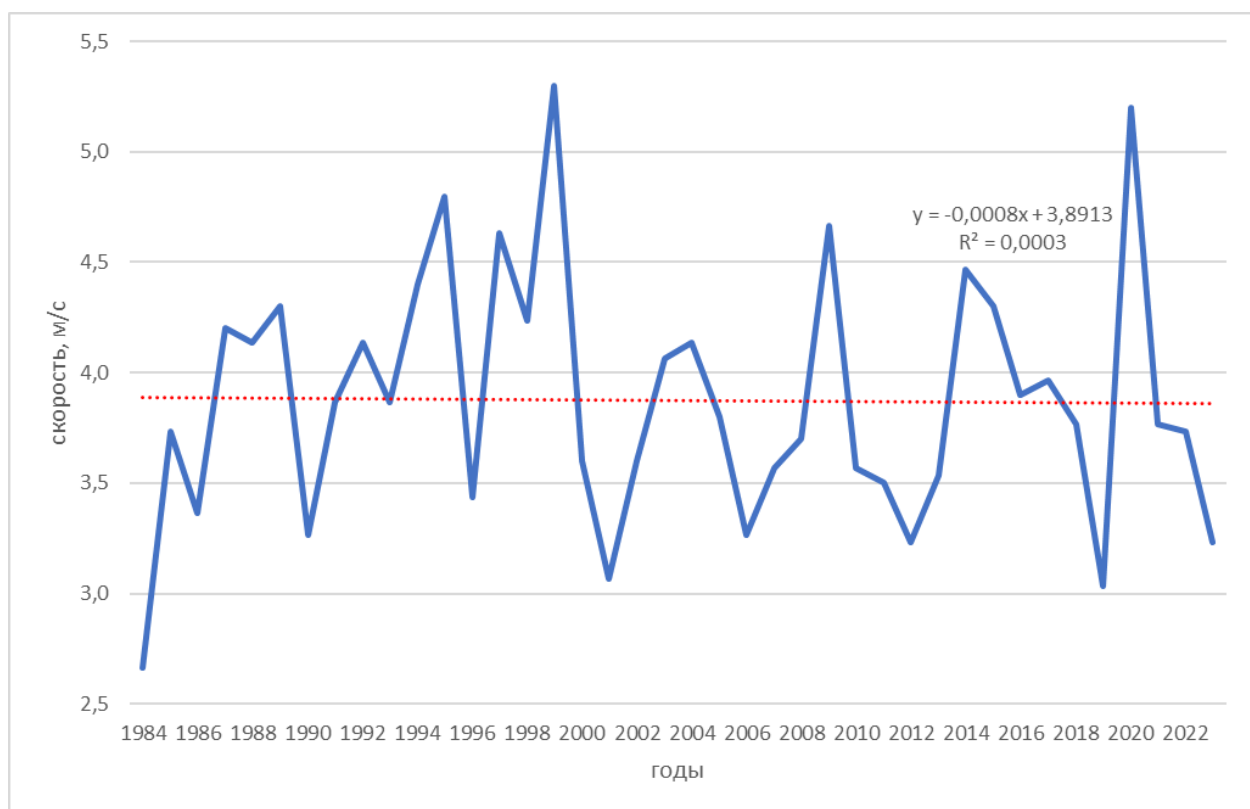


Рисунок 2.12 – Среднегодовая скорость ветра в м/с в апреле за 1984-2023гг.

График изменения средней скорости ветра в апреле показывает высокую межгодовую изменчивость. Значения колеблются от 2,7 до 5,3 м/с, а общая средняя скорость ветра составляет около 3,9 м/с. Максимальные значения

фиксируются в 1999 и 2020 гг., в эти месяцы средняя скорость ветра превысила 5 м/с, а минимальное значение в 1984 – 2,7 м/с. Ветровой режим в апреле достаточно стабилен, тенденции к понижению или увеличению среднегодовой скорости

график

не выявил.

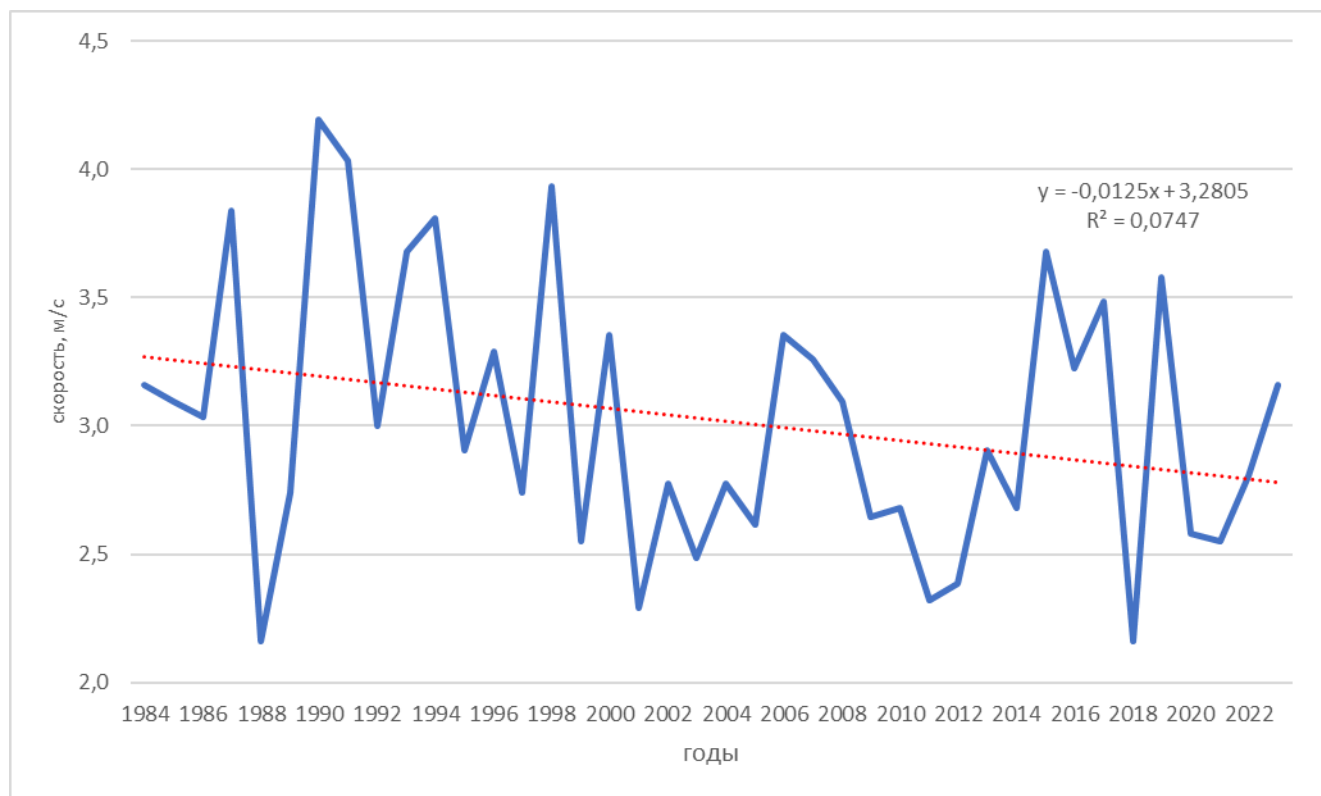


Рисунок 2.13 - Среднегодовая скорость ветра в м/с в июле за 1984-2023гг.

В отличие от графика среднегодовой скорости ветра в апреле, в июле наблюдается более выраженная тенденция к снижению. Значения скорости ветра в июле варьировались в пределах от 2,2 до 4,2 м/с. В первой половине периода значения чаще превышали 3,5 м/с, в то время как во второй половине это уже единичные случаи. Средняя скорость ветра в июле за 40 лет снизилась приблизительно на 1 м/с.

Также была рассчитана годовая повторяемость направлений ветра по многолетним значениям (Рисунок 2.14) и по одному месяцу за каждый сезон: в январе (Рисунок 2.15), в апреле (Рисунок 2.16), в июле (Рисунок 2.17) и в октябре (Рисунок 2.18). Для сопоставления на эти графики дополнительно нанесены

данные о повторяемости ветров из климатического справочника СССР за 1966-1980гг. [6]

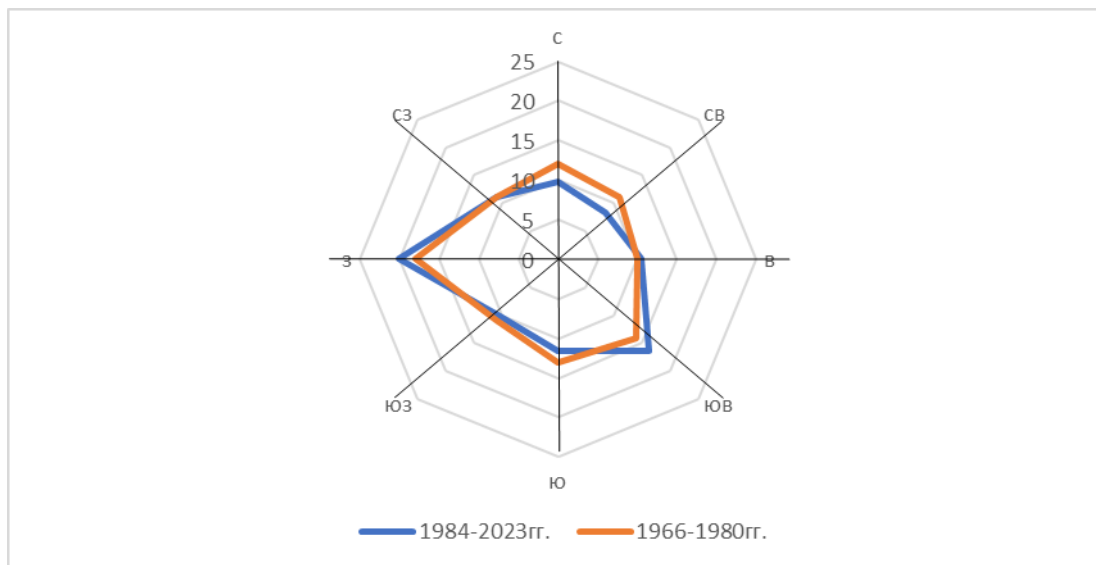


Рисунок 2.14 – Годовая повторяемость направлений ветра в % по многолетним значениям за 1984-2023гг. и 1966-1980гг.

За весь период наблюдений преобладающими направлениями ветра являются западное и юго-западное. Частота повторяемости ветров западного направления составляет наибольшее значение среди всех - 20%. Ветры южного и юго-восточного направлений также отмечаются, но встречаются реже в пределах 12-16 %. Наименьшая повторяемость зафиксирована у ветров северного и северо-восточного направлений, около 10%. Сравнение с данными за 1966–1980 гг. показывает, что общая роза ветров за прошедшие десятилетия существенных изменений не претерпела.

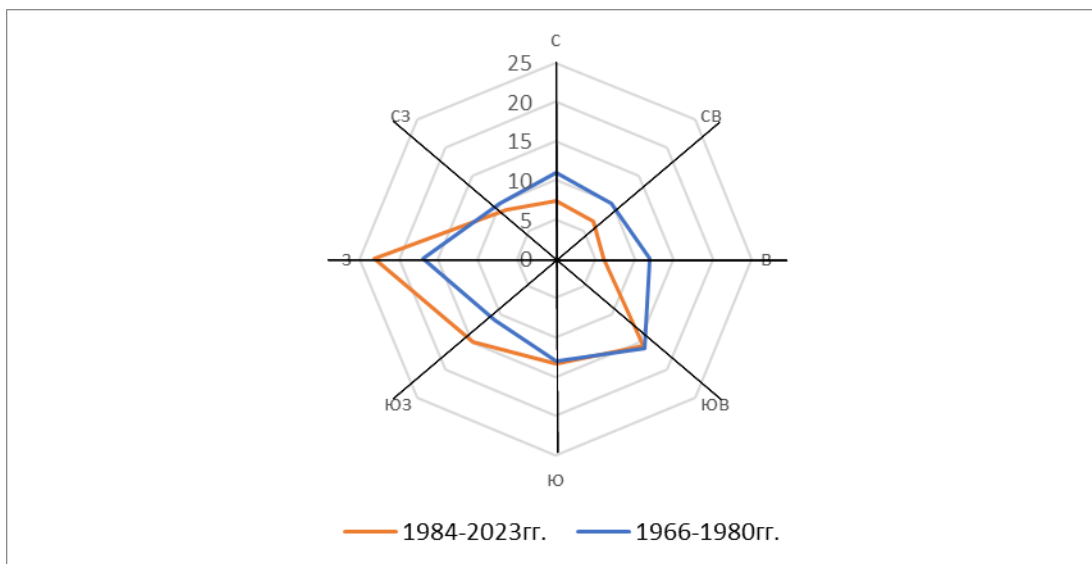


Рисунок 2.15 – Повторяемость направлений ветра в % в январе за 1984-2023гг. и 1966-1980гг.

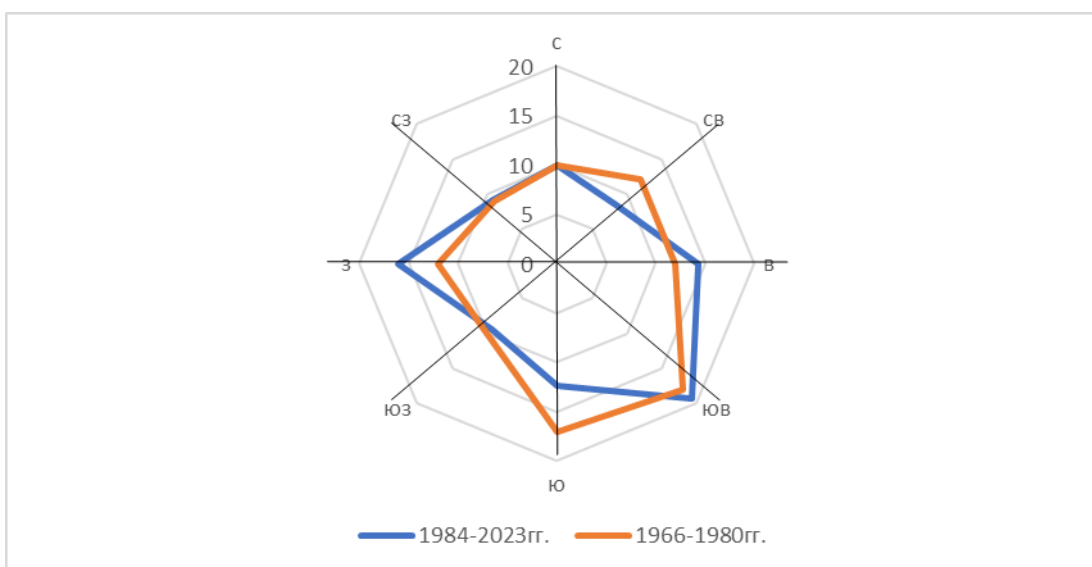


Рисунок 2.16 – Повторяемость направлений ветра в % в апреле за 1984-2023гг. и 1966-1980гг.

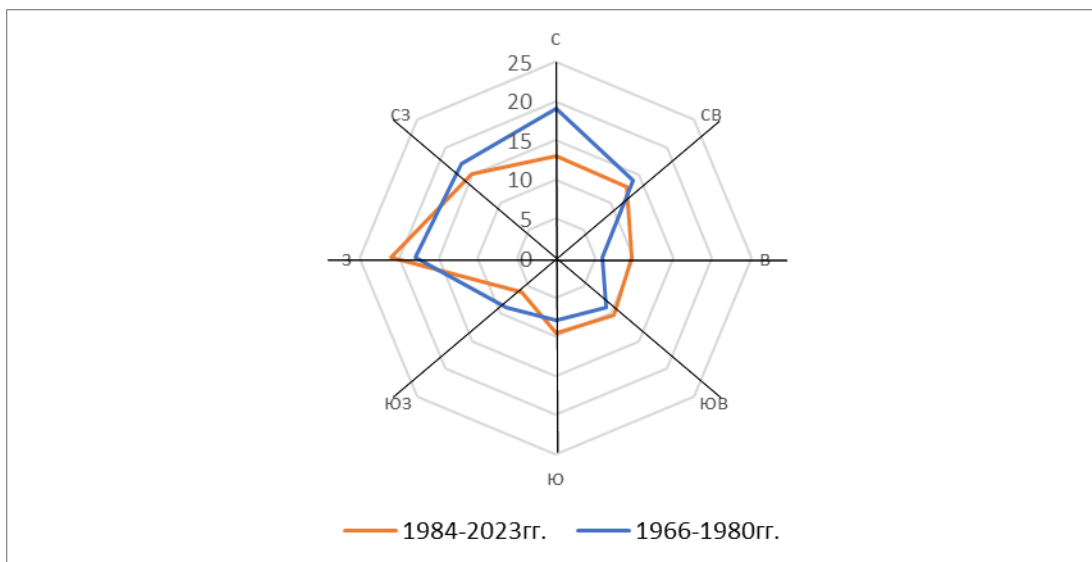


Рисунок 2.17 – Повторяемость направлений ветра в % в июле за 1984-2023гг. и 1966-1980гг.

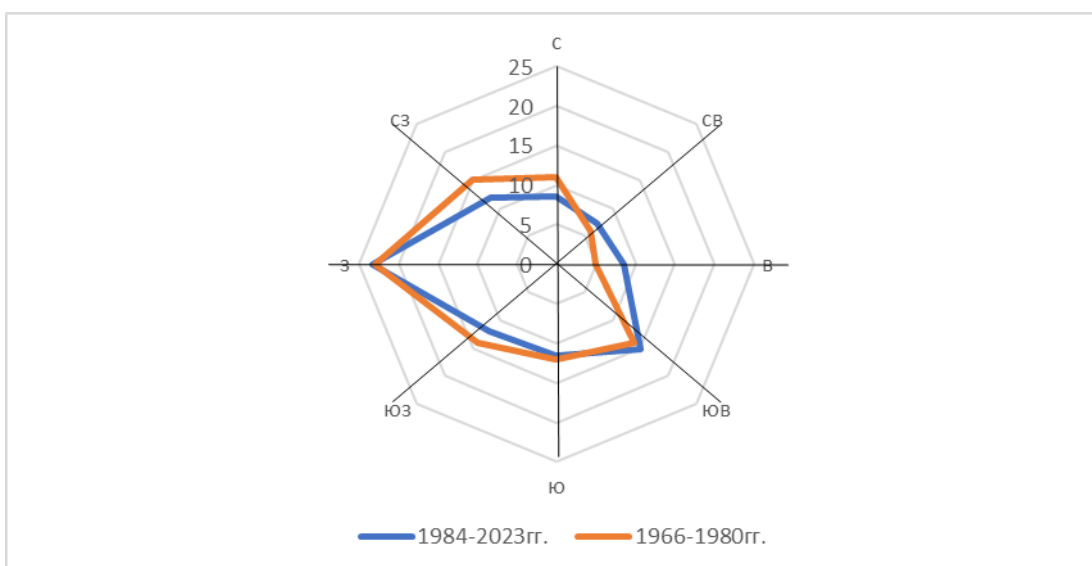


Рисунок 2.18 – Повторяемость направлений ветра в % в октябре за 1984-2023гг. и 1966-1980гг.

На основании графиков повторяемости направлений ветра по сезонам видно, что преобладающими направлениями остаются западное и юго-восточное направления. В основном все графики согласуются с графиком повторяемости направлений ветра по многолетним значениям за все месяцы (Рисунок 2.14), но в зависимости от сезона наблюдаются некоторые различия. В январе (Рисунок 2.15)

и октябре (Рисунок 2.18) повторяемость практически совпадает общей повторяемостью, преобладающим направлением остается западное и его повторяемость достигает практически 25%, в то время как остальные значения варьируются от 6 до 16%. В апреле (Рисунок 2.16) преобладающим направлением является юго-восточное и его повторяемость составляет 19%. Остальные значения распределены равномерно, за исключением ветров северных направлений. Повторяемость восточных, южных и западных ветров равны 14%, 12% и 16% соответственно, в то время как ветра северных направлений не превышают 10%. В июле (Рисунок 2.17) картина меняется. В этот месяц повторяемость ветров северных направлений впервые превышает 10% и их значения варьируются от 13 до 15%, в то время как повторяемость южных и восточных направлений опускается до 10%. Преобладающим направлением ветра остается западное и его повторяемость составляет 21%. При сравнении с данными за 1966–1980 гг. существенных изменений не наблюдается, структура распределения направлений сохранилась. В январе роза ветров ранее имела более равномерный характер, и преобладание западного направления было выражено слабее. В апреле наблюдалась меньшая повторяемость южного ветра, при этом доминировали западные и юго-восточные направления. В июле повторяемость ветра северных направлений была выше, чем в настоящее время. В октябре роза ветров практически не изменилась, характер распределения направлений остался прежним.

Для дополнительного анализа были построены графики средней скорости ветра по направлениям в январе (Рисунок 2.19), в апреле (Рисунок 2.20), в июле (Рисунок 2.21) и в октябре (Рисунок 2.22) за многолетний период.

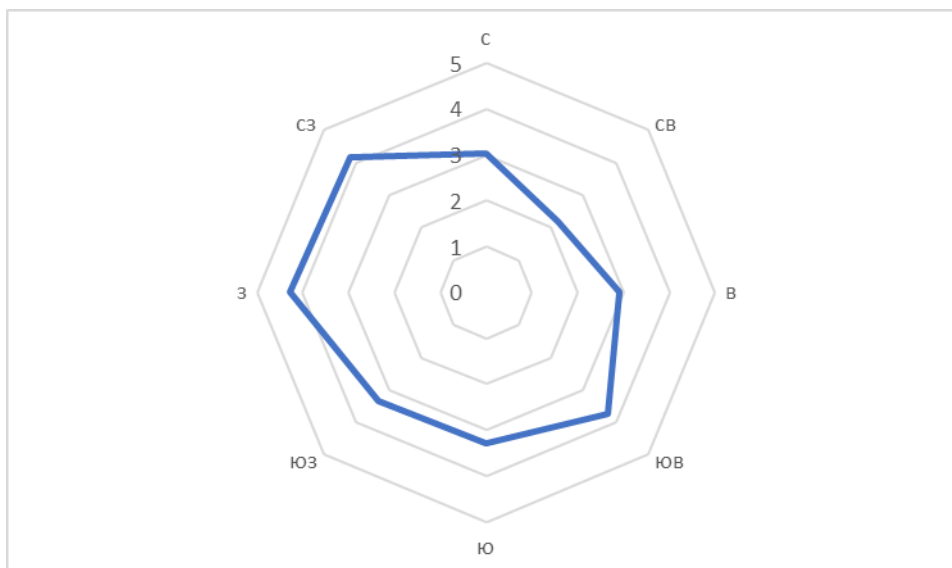


Рисунок 2.19 – Среднемесячная скорость ветра в м/с в январе по направлениям за 1984-2023гг.

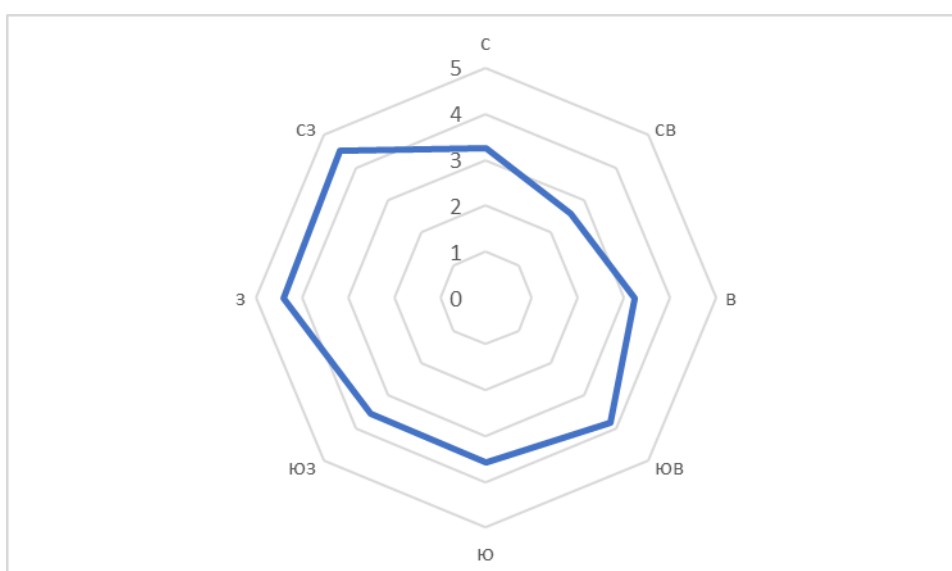


Рисунок 2.20 – Среднемесячная скорость ветра в м/с в апреле по направлениям за 1984-2023гг.

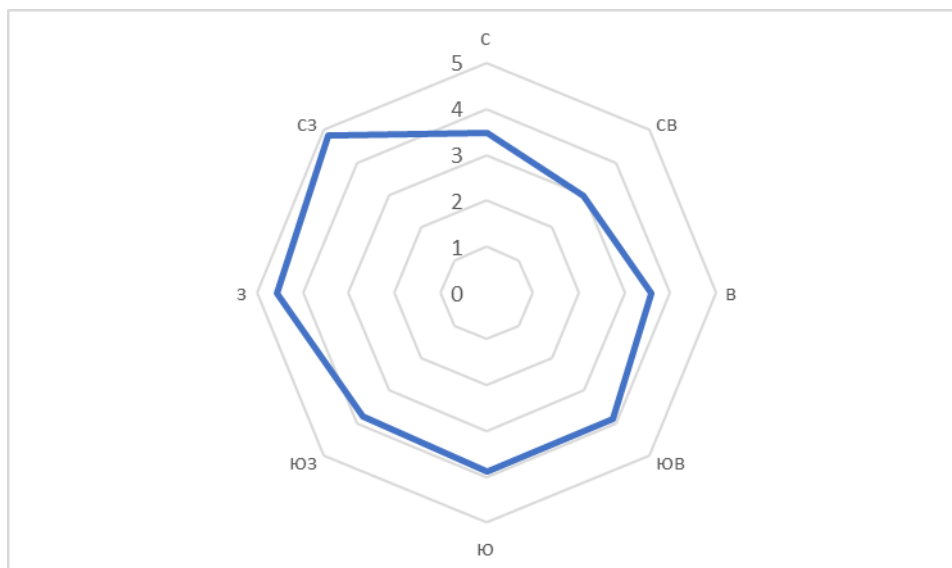


Рисунок 2.21 – Среднемесячная скорость ветра в м/с в июле по направлениям за 1984-2023гг.

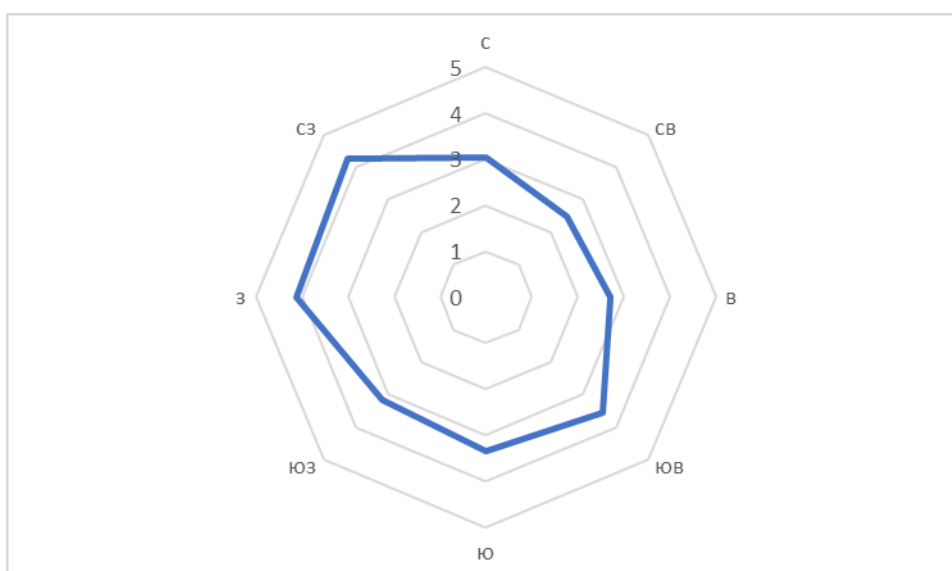


Рисунок 2.22 – Среднемесячная скорость ветра в м/с в октябре по направлениям за 1984-2023гг.

Анализируя графики, можно заметить, что распределение средней скорости ветра по направлениям практически не отличается. Во всех четырех месяцах наибольшая скорость ветра наблюдается при северо-западном направлении. Средняя скорость ветра в этом направлении не опускалась ниже 4 м/с, а максимальное значение доходило почти до 5 м/с в июле. Наиболее слабыми оказались ветра северо-восточного и восточного направлений. Их значения в отдельные месяцы не превышали 3м/с, а в наименьшее значение наблюдалось в январе на северо-восточном направлении, там средняя скорость ветра опустилось

почти до 2 м/с. В остальных направлениях скорость ветра практически не отличается и варьируется от 3 до 4м/с. Стоит отметить, что несмотря на низкую повторяемость, ветер северо-западного направления оказался наиболее интенсивным.

Также была проанализирована высота снежного покрова на территории региона за период 1984–2023 гг. По полученным среднемесячным данным ниже был построен график среднемесячной высоты снежного покрова за 40-летний период (Рисунок 2.23).

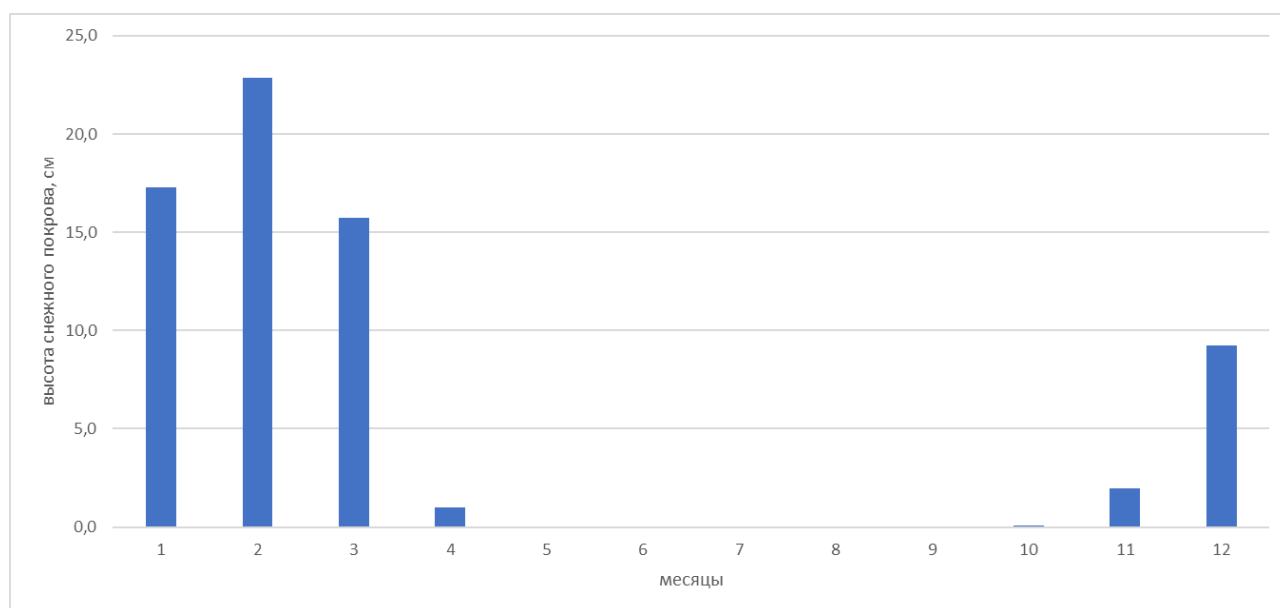


Рисунок 2.23 – Среднемесячная высота снежного покрова за 1984-2023гг.

На основании графика видно, что холодный сезон в Воронеже длится с октября по апрель. В ноябре высота снежного покрова в среднем составляет около 2см. В декабре наблюдается активный рост снежного покрова - до 9 см, с последующим увеличением в январе до 17 см. В феврале среднемесячная высота достигает максимума и составляет 23 см. В марте высота покрова начинает снижаться, однако остается еще около 15-16 см. В апреле снежный покров сходит почти полностью, фиксируются лишь остаточные значения (около 1 см). В период с мая по сентябрь снежный покров отсутствует. В октябре возможны единичные случаи выпадения снега, но они не оказывают существенного влияния на средние значения.

Глава 3. Расчет специализированных климатических данных для строительной отрасли

3.1 Специализированные температурные характеристики

Специализированные метеорологические характеристики, отражающие уровень теплообеспеченности и холодовых нагрузок включают в себя: продолжительность отопительного периода, температуру наиболее холодной пятидневки, температуру самых холодных и наиболее жарких суток, расчет вентиляционной температуры, а также глубину промерзания почвы.

Чтобы рассчитать продолжительность отопительного периода, были построены графики среднемесячного хода температур для каждого года и проанализирован их ход. Отопительный период начинается при устойчивом переходе температуры через 8°C . Ниже представлен пример одного из графиков среднемесячной температуры (Рисунок 3.1), по которому определялась продолжительность отопительного периода.

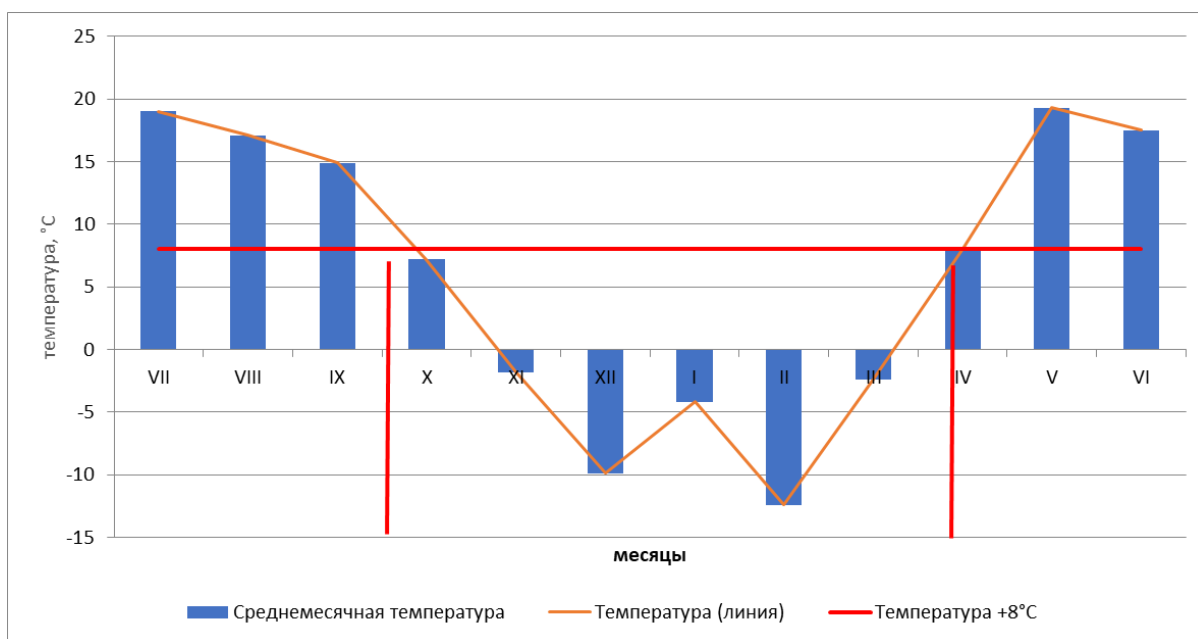


Рисунок 3.1 – Среднемесячная температура воздуха в 1984г.

По полученным данным была рассчитана средняя продолжительность отопительного периода с 1984 по 2023гг. и составила 183 дня. Также на основании этих данных был построен график динамики продолжительности отопительного периода за 40-летний период (Рисунок 3.2).

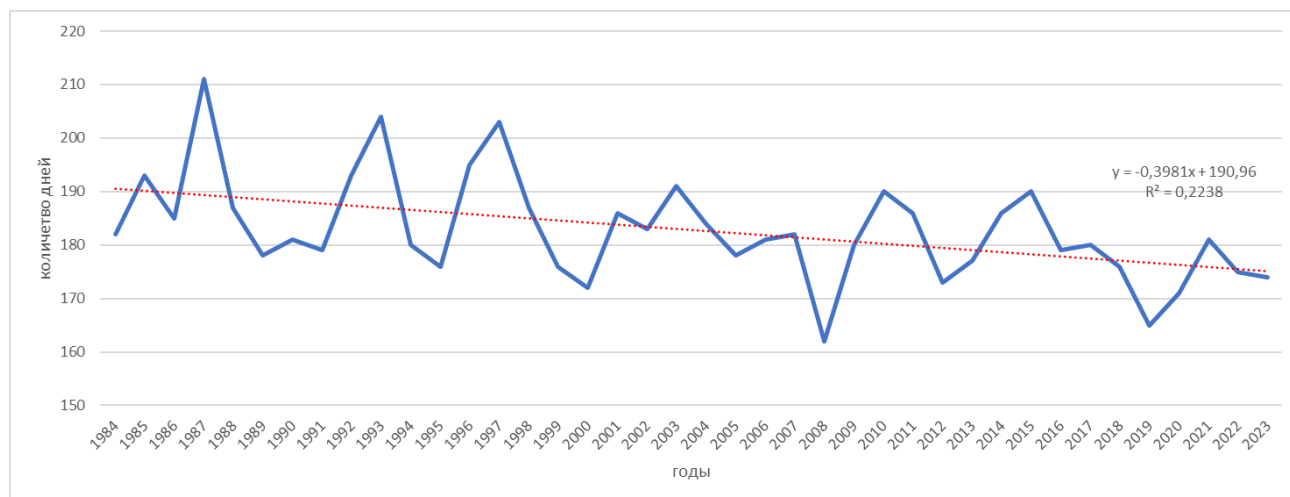


Рисунок 3.2 – Продолжительность отопительного периода за 1984-2023гг.

Анализ графика продолжительности отопительного периода показывает общую тенденцию к его сокращению. В первой половине периода наблюдались отдельные года, где продолжительность превышала 200 дней, в то время как во второй половине самые холодные года едва превышают 190 дней. Наибольшая продолжительность наблюдалась в 1987 году и составила примерно 211 дней, а наименьшая продолжительность была в 2008 году – около 162 дней. Таким образом за 40 лет отопительный период в Воронеже сократился в среднем на 15 суток.

Далее переходим к расчету наиболее холодной пятидневки (t_5) и наиболее холодных суток (t_1). Для этого воспользуемся формулами (3.1) и (3.2) [5,9].

$$t_5 = 1,25t_x - T, \quad (3.1)$$

$$t_1 = 1,31t_x - T_1, \quad (3.2)$$

где t_x - средняя температура воздуха за самый холодный месяц, T и T_1 – постоянный эмпирический коэффициент, который зависит от района расположения населенного пункта (Таблица 3.1) [5,9].

Таблица 3.1 – Показатели T и T_1

Район	1Б		1А		I		II		III		IV					
Т	20,6		17,6		14,6		11,6		8,6		5,6					
Район	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII	
Т ₁	24		21		18		15		12		9		6		3	

Для Воронежа коэффициенты T и T_1 составили -14,6 и 18 соответственно. Определив коэффициенты, были получены расчетные значения t_5 и t_1 для каждого года за период 1984-2023гг. Ниже представлены графики динамики данных температурных характеристик (Рисунок 3.3) и (Рисунок 3.4).

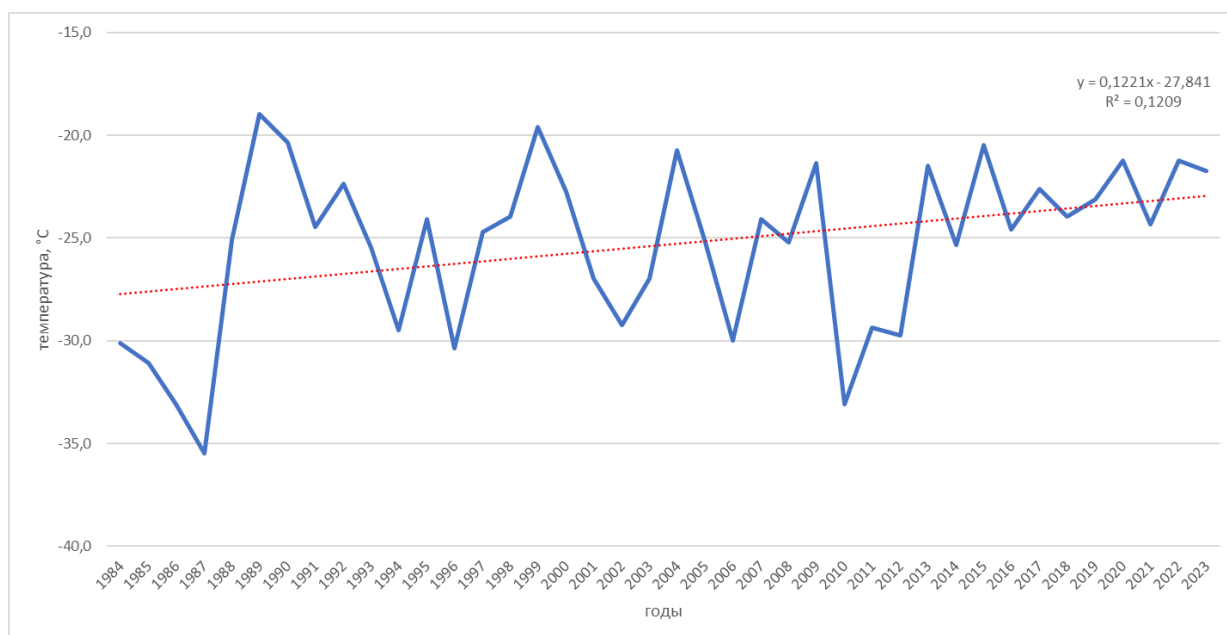


Рисунок 3.3 – Температура наиболее холодной пятидневки за 1984-2023гг.

Данный график показывает тенденцию к увеличению температуры наиболее холодных пятидневок. В первой половине значения чаще находились ниже

отметки -25°C и сама амплитуда межгодовых колебаний была выше, в то время как во второй половине значения преимущественно варьируются от -25°C до -20°C и реже опускаются ниже -25°C .

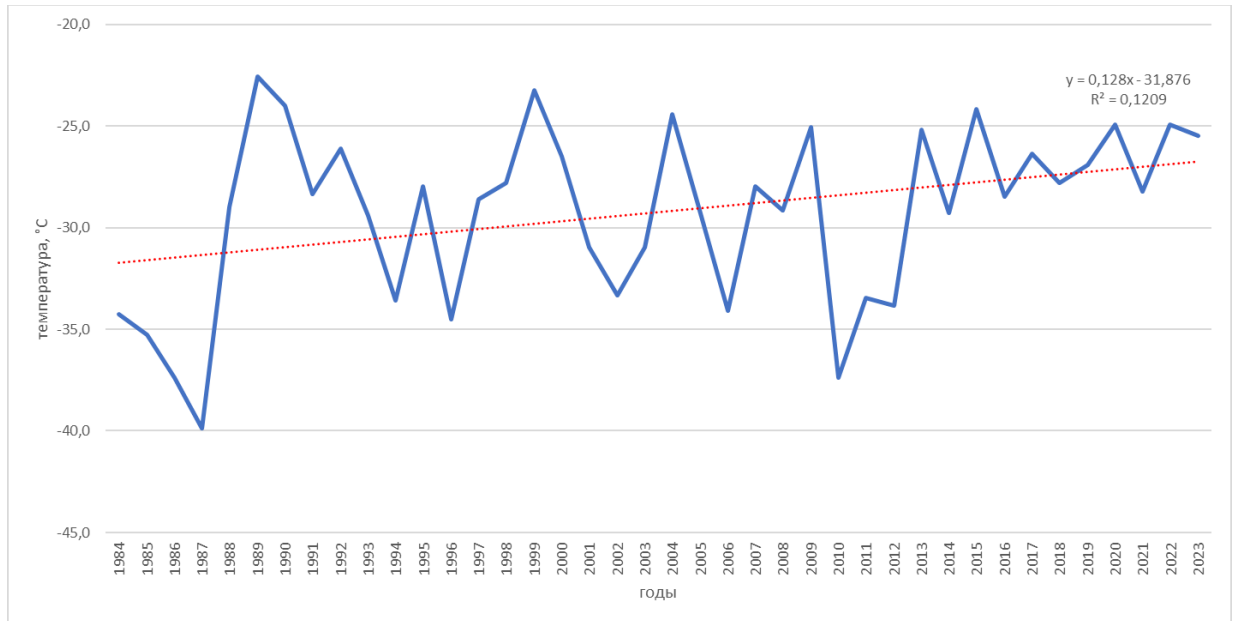


Рисунок 3.4 – Температура наиболее холодных суток за 1984-2023гг.

Аналогичная ситуация наблюдается и с температурой наиболее холодных суток. За 40-летний период так же снизилась межгодовая амплитуда и температурные минимумы стали выше.

Затем были рассчитаны значения наиболее жарких суток ($t_{н ж}$) и вентиляционной температуры (t_v) по формулам (3.3) и (3.4) соответственно [5,9].

$$t_{н ж} = t_{ж} - T_T, \quad (3.3)$$

$$t_v = 1,125t_x - T_2, \quad (3.4)$$

где $t_{ж}$ – средняя температура воздуха наиболее жаркого месяца, T_T – постоянная величина, определяемая по карте, значения которой меняются от $5-6^{\circ}$ на юге до $14-15^{\circ}$ на севере, t_x – средняя температура воздуха за самый холодный месяц, T_2 – постоянная величина (Таблица 3.2) [5,9].

Таблица 3.2 – Значения постоянной величины T_2

Район	А	Б	В
Значение T_2	-6,5	-3,0	0,5

Ниже представлен график динамики температуры наиболее жарких суток за 40-летний период (Рисунок 3.5).

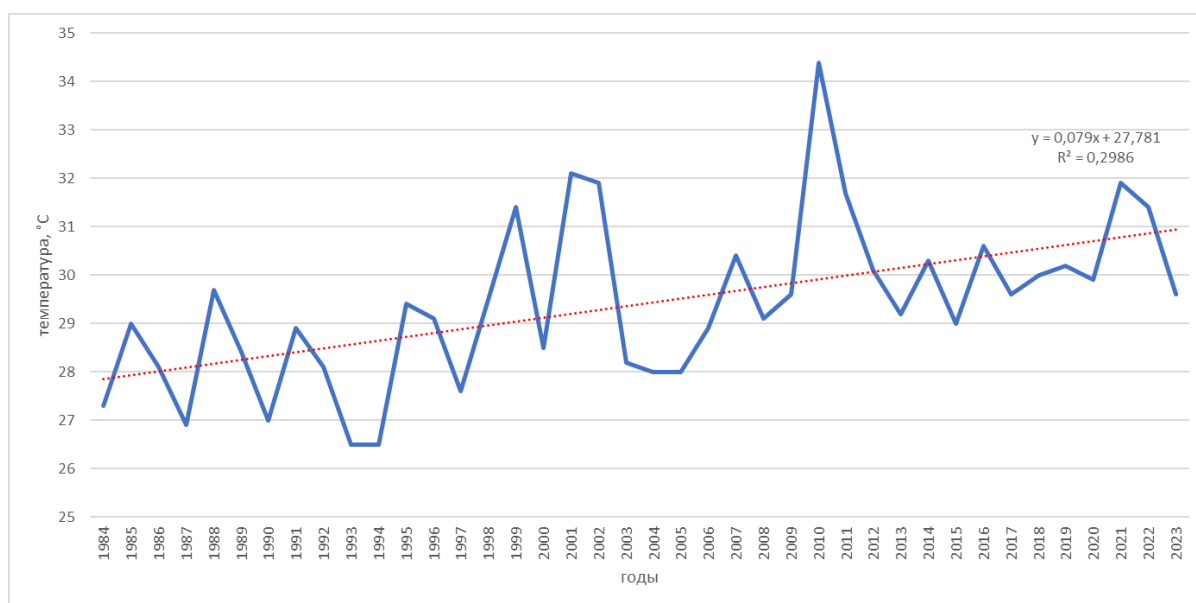


Рисунок 3.5 – Температура наиболее жарких суток за 1984-2023гг.

Данный график показывает тенденцию на увеличение температурных экстремумов. В первой половине срока значения преимущественно варьировались от 27 до 30 °C. Во второй половине значения уже находятся в промежутке между 29 и 31 °C. В 2010 году наблюдался максимум температуры, который составил 34,4 °C. В среднем за весь период температура поднялась на 3 °C.

Также была получена глубина промерзания почвы, которая рассчитывается по формуле (3.5) [5,9].

$$h_n = c\sqrt{\sum |t| + 2}, \quad (3.5)$$

где s — коэффициент, который зависит от состава почвы, $\sum|t|$ абсолютное значение суммы отрицательных температур. Для глинистых и суглинистых почв коэффициент s равен 23, для супесчаных – 28, а для песков, имеющих среднюю и крупную структуру, он равен 30 [5,9]. Для Воронежа коэффициент $s = 23$

По полученным данным был построен график изменения глубины промерзания почвы за холодный период с 1984 по 2023гг. (Рисунок 3.6).

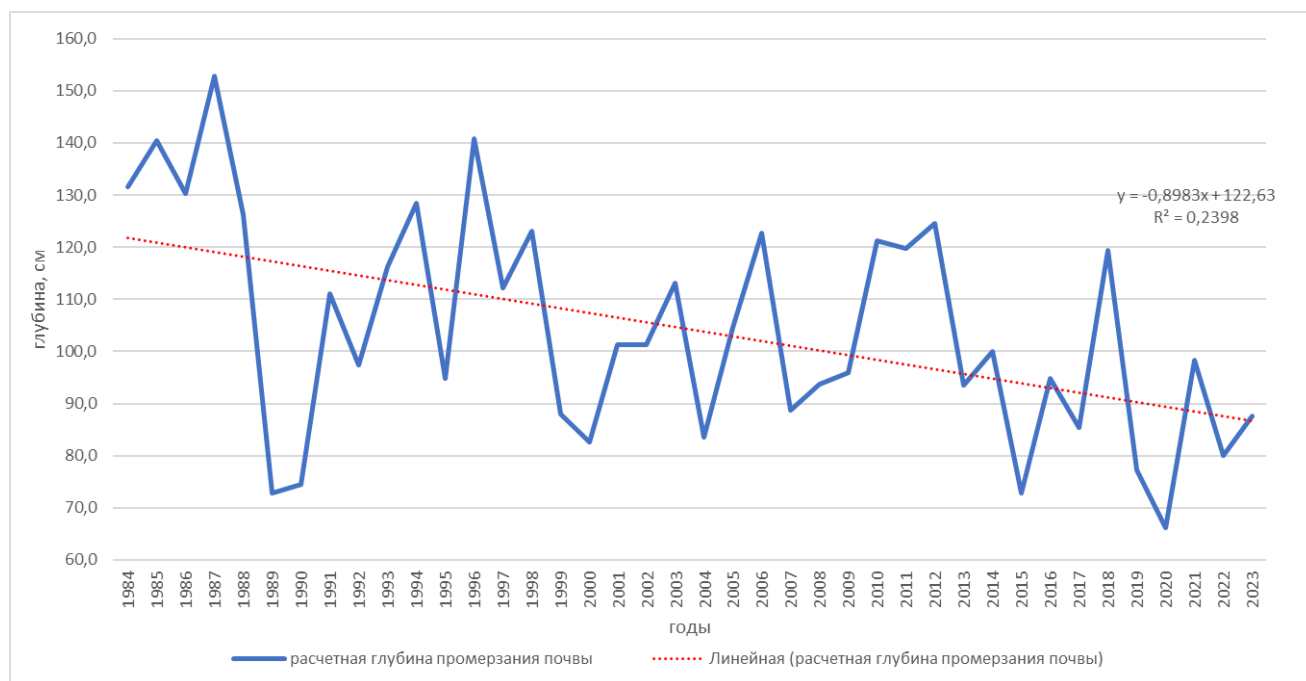


Рисунок 3.6 – Глубина промерзания почвы за холодный период 1984-2023гг.

График показывает тенденцию к снижению глубины промерзания почвы. В первой половине периода значения преимущественно находились в промежутке 90-140 см, в отдельные года, такие как 1989 и 1990, почва не промерзала глубже 80 см. Во второй половине значения в среднем варьируются от 70 до 120 см. В 1987 году наблюдалась максимальная глубина промерзания, которая составила около 153 см. За весь период средняя глубина промерзания уменьшилась примерно на 30 см, что можно связать с общей тенденцией на повышение температуры в регионе.

3.2 Расчет косых дождей

Под косыми дождями подразумеваются жидкие осадки, выпадающие при скоростях ветра выше 6 м/с [1,4]. Для их определения был обработан массив данных за период 1984-2023гг. за теплый сезон с апреля по октябрь. Всего за 40 лет было выявлено 2556 случаев косых осадков. Впоследствии, была определена вероятность скорости ветра при дождях за все годы и месяцы (Рисунок 3.7).

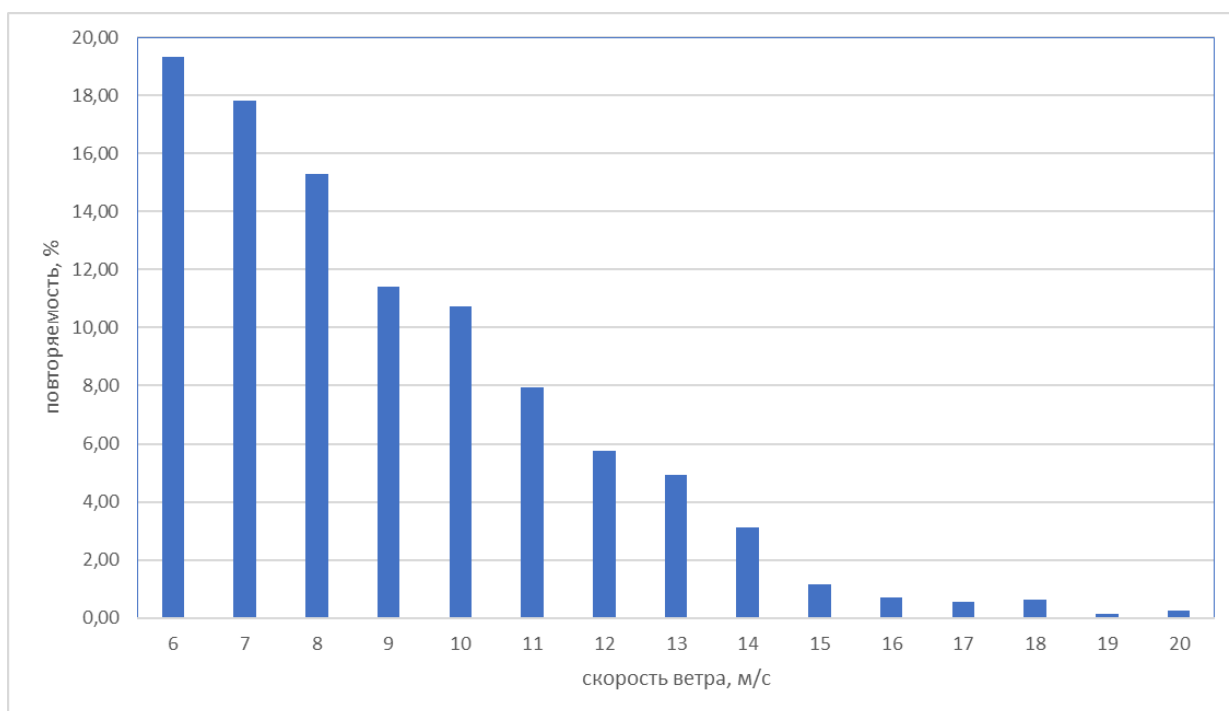


Рисунок 3.7 – Вероятность скорости ветра при косых дождях за период 1984-2023гг.

Согласно графику, примерно 64 % случаев косых осадков приходится на скорости ветра в диапазоне от 6 до 9 м/с. Наибольшая частота наблюдается при скорости 6 м/с — около 19 % всех зафиксированных ситуаций. Примерно 33 % случаев приходятся на скорости от 10 до 14 м/с. Минимальная вероятность отмечается при скоростях свыше 15 м/с — на них приходится не более 3 % от общего числа наблюдений.

Помимо распределения по скоростям ветра, было сделано распределение по направлениям. Ниже представлен график распределения вероятности косых осадков по направлениям за 40-летний период. (Рисунок 3.8).

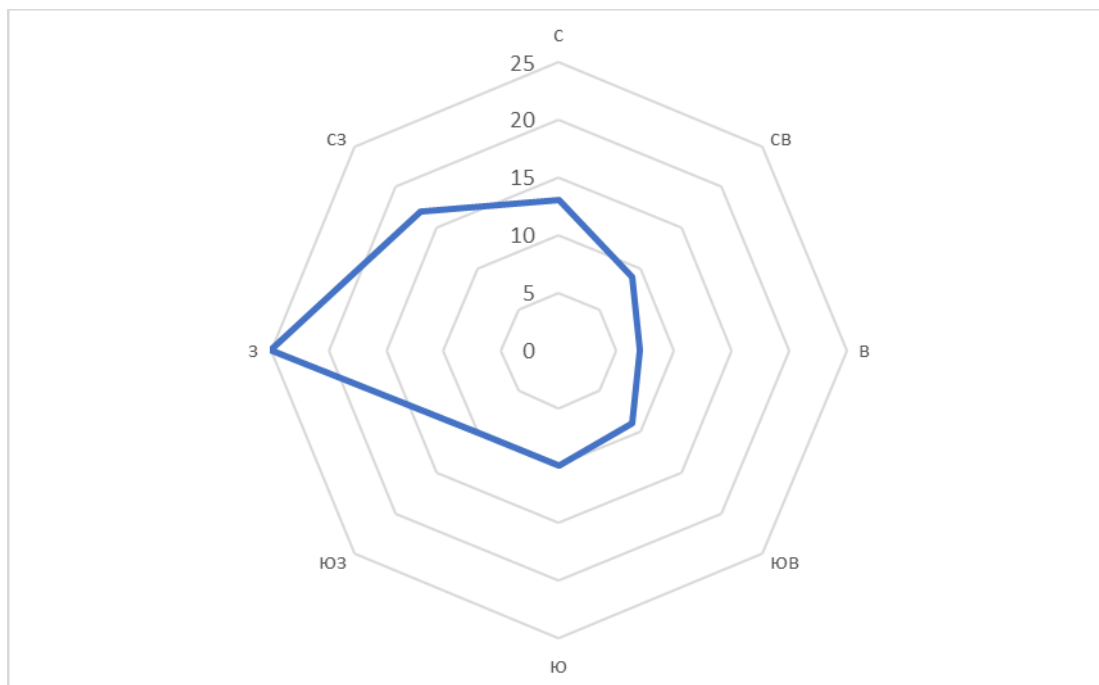


Рисунок 3.8 – Вероятность косых дождей в % по направлениям ветра за период 1984-2023 гг.

График показывает, что косые осадки чаще всего наблюдаются при ветрах западного и северо-западного направлений, на их долю приходится 25% и 17% случаев соответственно. Наименьшая вероятность косых дождей с восточного направления, всего 7% случаев за весь период. Вероятность по остальным направлениям варьируется от 9 до 13%.

Для дополнительного анализа была оценена динамика количества случаев косых дождей по годам за теплый период с 1984 по 2023гг. Ниже представлен соответствующий график (Рисунок 3.9)

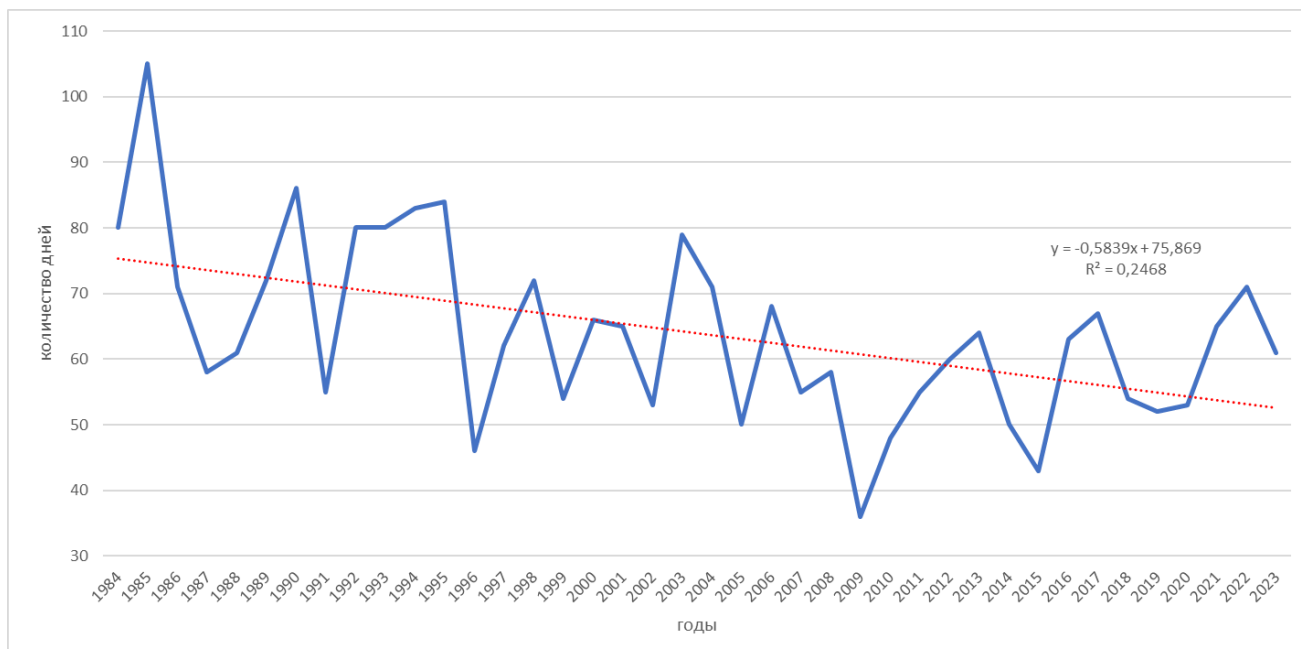


Рисунок 3.9 – Количество случаев косых дождей за теплый период года с 1984 по 2023гг.

График количества случаев косых дождей показывает, что их повторяемость уменьшается. В первой половине периода наблюдений количество случаев составляло в среднем 70-90 случаев в год, а в отдельные годы могло достигать 105 случаев, как в 1985 году. Во второй половине значения постепенно снижаются и варьируются в среднем от 40 до 70 случаев в год, в 2009 году и вовсе было зафиксировано всего 36 таких случаев. За все время наблюдений снижение составило в среднем на 20-25 случаев в год.

3.3 Расчет ветровой и снеговой нагрузок

При расчете ветровой и снеговой нагрузки были использованы те же данные, что и для анализа режима ветра и снега. Для расчета было взято гипотетическое здание с двускатной крышей с углом наклона 30° и высотой 15м, находящееся в черте города. Ветровая нагрузка была рассчитана по формуле (3.6) [9].

$$W_p = 0,7 \cdot W \cdot k \cdot C, \quad (3.6)$$

где W – нормативная величина усилия, создаваемого напором воздуха; определяется по картам в приложении к СП 20.133330.2011; k – коэффициент, показывающий зависимость давления от высоты над срезом верхнего уровня земли; C – аэродинамический коэффициент, учитывающий направление набегания воздушного потока на скат крыши и на фронтоны [9].

В нашем случае наибольший ветровой поток приходится на скат крыши. Для Воронежа величина W равна 42 км/м^2 , коэффициент k , для выбранного здания, равен $0,75$ и аэродинамический коэффициент C равен $0,7$. В конечном счете, ветровая нагрузка, оказываемая крышу гипотетического здания, равняется $15,44 \text{ кгс/м}^2$.

Далее была посчитана снеговая нагрузка на крышу гипотетического здания с теми же характеристиками. Для этого сначала был определен норматив $P_0 \text{ кгс/м}^2$ по снеговой нагрузке на горизонтальную поверхность по формуле (3.7) [5,9].

$$P_0 = \rho * H, \quad (3.7)$$

где ρ – плотность снега для определенной территории; H – средняя из ежегодных максимальных высот снежного покрова на защищенных участках [5,9].

Плотность снега для Воронежа была взята из климатического справочника СССР и составила 230 кг/м^3 [6]. Среднее значение из ежегодных максимальных высот снежного покрова вышло $0,27 \text{ м}$. Таким образом значение $P_0 = 63,7 \text{ кгс/м}^2$. Для того, чтобы получить расчетную нагрузку P_p , полученное значение нужно умножить на поправочный коэффициент μ , учитывающий изменение нагрузки на разных углах наклона кровли. Для наклона от 25° до 60° , $\mu = 0,7$. Таким образом P_p для нашего здания составляет $44,6 \text{ кгс/м}^2$.

Заключение

В заключении хотелось бы подвести итог о том, что климат играет важную роль в нашей жизни и затрагивает множество сфер, в том числе строительство. С изменениями климата необходимость в серьезном подходе к проверке природных условий и адаптации инженерных решений становится все более актуальной. Для устойчивого развития территорий нужно учитывать долгосрочные изменения в погодных данных, поэтому исследования климата очень важны.

В результате проведенной работы были решены все поставленные задачи: изучено климатическое обслуживание строительной отрасли и физико-географические особенности города Воронежа, проведен анализ динамики метеорологических характеристик в строительной отрасли, а также рассчитаны специализированные климатические характеристики.

На фоне глобального потепления, заметны изменения в температурных показателях в регионе. За 40 лет повысилась средняя температура воздуха и почвы, что в свою очередь повлекло за собой изменения специализированных климатических характеристик: увеличение температур наиболее жарких и холодных суток, увеличение температуры холодных пятидневок, уменьшение продолжительности отопительного периода и глубины промерзания почвы.

Режим осадков также претерпевает изменения: в зимние и весенние месяцы фиксируется увеличение их количества, в летние - снижение. Также отмечается уменьшение числа случаев косых дождей. Ветровой режим в целом остается устойчивым - средние скорости и направления ветра за последние десятилетия практически не изменились. Такая стабильность позволяет сохранить действующие расчетные ветровые нагрузки без необходимости их пересмотра.

Список использованных источников

1. НИИСФ РААСН. Строительная климатология. Справочное пособие к СНиП 23-01-99*. — М.: 2006.
2. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*
3. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*
4. Кобышева Н.В. и др. Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики. — СПб.: ГГО, 2008.
5. Шталь В.А., Белов Н.Ф., Циценко Г.В. Прикладная климатология. — Л.: ЛГМИ, 1981. — 165 с.
6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1- 6. Вып. 28. - Л.: Гидрометеиздат, 1993
7. Ахтырцев Б. П., Ахтырцев А. Б. Почвенный покров Среднерусского Черноземья. — Воронеж: Изд-во ВГУ, 1993. — 216 с.
8. Агроклиматические ресурсы Воронежской области. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — 108 с.
9. Учебно-методическое пособие по выполнению практических и расчетно-графических работ по дисциплине «Прикладная климатология» / Сост.: В.Н. Абанников, И.Н. Ааед Мханна, Э.В. Подгайский. – СанктПетербург: Изд-во «Ниц Арт», 2022. – 80 с.
10. Электронный источник, <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/>, дата обращения 02.04.2025
11. Электронный источник, <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/obsluzhivanie/stroitelstvo>, дата обращения 05.05.2025
12. Электронный источник, <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/obsluzhivanie>, дата обращения 06.05.2025

13. Электронный источник, <https://minstroyrf.gov.ru/press/opredeleny-klimaticheskie-parametry-dlya-proektirovaniya-zdaniy-v-krymu/>, дата обращения 06.05.2025
14. Электронный источник, <https://minstroyrf.gov.ru/press/obnovlen-perechen-natsionalnykh-standartov-reglamentiruyushchiy-soblyudeniye-tekhnicheskogo-reglament/>, дата обращения 06.05.2025
15. Электронный источник <https://край36.рф/index.php/klimat>, дата обращения 07.05.2025
16. Электронный источник, <https://ru-ru.topographic-map.com/map-3bw218/Воронеж/>, дата обращения 07.05.2025
17. Атлас Воронежской области. – Воронеж, 1994. – 48 с.