



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему «Пространственное распределение метеопараметров на побережье Финского залива»

Исполнитель

Макушкин Лев Васильевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

«*DS*» июня 2026 г.

Санкт-Петербург
2026

Содержание

Введение.....	3
1 Описание выбранных станций и краткая климатическая характеристика района.....	5
1.1 Краткая климатическая характеристика.....	5
1.2 Общее описание выбранных станций	5
2. Климатическое описание района исследования	11
2.1 Общий климатический фон региона.....	12
2.2 Климатические характеристики по отдельным станциям	13
2.2.1 Санкт-Петербург	13
2.2.2 Озерки	14
2.2.3 Выборг	15
2.2.4 Кингисепп	16
2.2.4 Автоматическая дорожная станция «116-й километр КАД».....	17
3 Подготовка данных и анализ полученных значений	19
3.1 Подготовка архивных данных	19
3.2 Анализ экстремальных и средних значений	20
3.3 Анализ межсуточной изменчивости.....	21
3.4 Корреляционный анализ пространственной связности	22
Заключение.....	36
Список литературы	40

Введение

Актуальность темы. Гидрометеорологическая изученность прибрежных акваторий России, в том числе Финского залива, имеет важное значение для обеспечения безопасности судоходства, строительства и эксплуатации портовой инфраструктуры, а также для прогнозирования экологического состояния водных объектов. Особенности пространственного распределения метеорологических величин (температуры воздуха, атмосферного давления, относительной влажности и скорости ветра) в пределах локального района определяются комплексом физико-географических факторов: характером подстилающей поверхности, удалённостью от открытого моря, наличием островов и защищённых бухт. Понимание этих закономерностей необходимо для планирования наблюдений и оценки климатических рисков.

Несмотря на относительно небольшие размеры акватории восточной части Финского залива, существующая сеть гидрометеорологических станций не всегда позволяет однозначно интерпретировать изменчивость метеопараметров. Наиболее информативным подходом является количественный анализ временных рядов наблюдений с привлечением статистических методов, позволяющих оценить синхронность колебаний на разных станциях, выявить устойчивые градиенты и определить типичные величины расхождений.

Объект исследования – метеорологический режим восточной части Финского залива в осенний период.

Предмет исследования – пространственное распределение температуры воздуха, атмосферного давления, относительной влажности и скорости ветра по данным пяти гидрометеорологических станций: СПб, Кингисепп, Озерки, Выборг, АДМС 116-й километр КАД в течение трёх месяцев (сентябрь–ноябрь) 2015 года.

Цель работы – выявить количественные характеристики пространственной структуры метеорологических полей в пределах

выбранного района на основе статистического анализа рядов среднесуточных значений.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Систематизировать исходные данные наблюдений, привести их к единой временной дискретности (среднесуточные значения) и восстановить короткие пропуски методом, подходящим для конкретной метеорологической величины.
2. Рассчитать основные статистические характеристики для каждой станции и каждого месяца: средние значения, среднеквадратическое отклонение (межсуточную изменчивость).
3. Вычислить коэффициенты парной корреляции Пирсона между всеми станциями для каждой метеорологической величины и проанализировать синхронность их временных ходов.
4. Оценить типичные расхождения между станциями через среднеквадратическое отклонение (СКО).
5. Интерпретировать полученные показатели в связи с физико-географическими условиями расположения станций.

Практическая значимость – результаты могут быть использованы для пространственной интерполяции метеопараметров, оценки репрезентативности отдельных станций, а также для планирования сети наблюдений.

1 Описание выбранных станций и краткая климатическая характеристика района

1.1 Краткая климатическая характеристика

Финский залив – восточная часть Балтийского моря. Российский сектор залива имеет сложную береговую линию, множество островов и отличается мелководностью. Эта акватория и прилегающая территория Ленинградской области находятся в зоне умеренного климата, переходного от океанического к континентальному, для которого характерны умеренно мягкая зима и умеренно тёплое лето. Основной особенностью климата является его непостоянство, обусловленное частой сменой воздушных масс и активной циклонической деятельностью. [1],[2].

Особый интерес представляет осенний сезон (сентябрь – ноябрь), когда над регионом резко возрастает циклоническая активность. Как отмечается в ряде работ, для осенне-зимнего периода характерно около 140 дней в году с циклонами, что определяет влажную, пасмурную и ветреную погоду с частыми продолжительными осадками и туманами [1][2]. Именно высокая межсуточная изменчивость, обусловленная частой сменой воздушных масс и прохождением атлантических циклонов, делает этот сезон наиболее сложным для прогнозирования и, одновременно, показательным для оценки пространственной связности метеорологических полей.

1.2 Общее описание выбранных станций

В данном исследовании использованы измерения пяти гидрометеорологических станций, расположенных в ключевых точках восточной части Финского залива.

Эти станции были выбраны, потому что они соответствуют нужному географическому расположению (охватывают восточную часть Финского залива с двух берегов на территории РФ), данные с архивов погоды этих

станций находятся в легком доступе и данные почти всех станций без пропусков наблюдений. Краткая характеристика всех пяти метеостанций приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Краткая характеристика станций

Станция	Тип местности	Географическое положение	Краткое описание
Санкт-Петербург	Крупный мегаполис	Вершина залива	Плотная городская застройка, промышленность, развитая дорожная сеть
Выборг	Малый город	Северное побережье	Удалён от крупных городов; сочетание прибрежной и континентальной черт
Озерки	Пригородная/береговая зона	Северное побережье	Непосредственная близость к воде, наименее урбанизированная среди северных станций
Кингисепп	Малый город	Южное побережье	Близость порта Усть-Луга; открытое побережье, влияние портовой инфраструктуры
116-й километр КАД	Придорожная/прибрежная зона	Южное побережье	Кольцевая автодорога, южный берег, влияние автотранспорта и близость к городу

Рассмотрим подробнее места установки выбранных для исследования станций.

1. Первая станция «Санкт-Петербург», Северо-западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, улица Профессора Попова, 48, координаты: 59.9692, 30.2844 (рис. 1.1). Станция окружена плотной городской застройкой, развитой транспортной сетью и расположена в вершине залива.

2. Вторая метеостанция «Озерки», Ленинградская область, Выборгский район, координаты: 60.2105, 28.9969 (рис. 1.3). Расположена

непосредственно на берегу северного побережья залива. Местность в районе установки станции наименее урбанизирована.

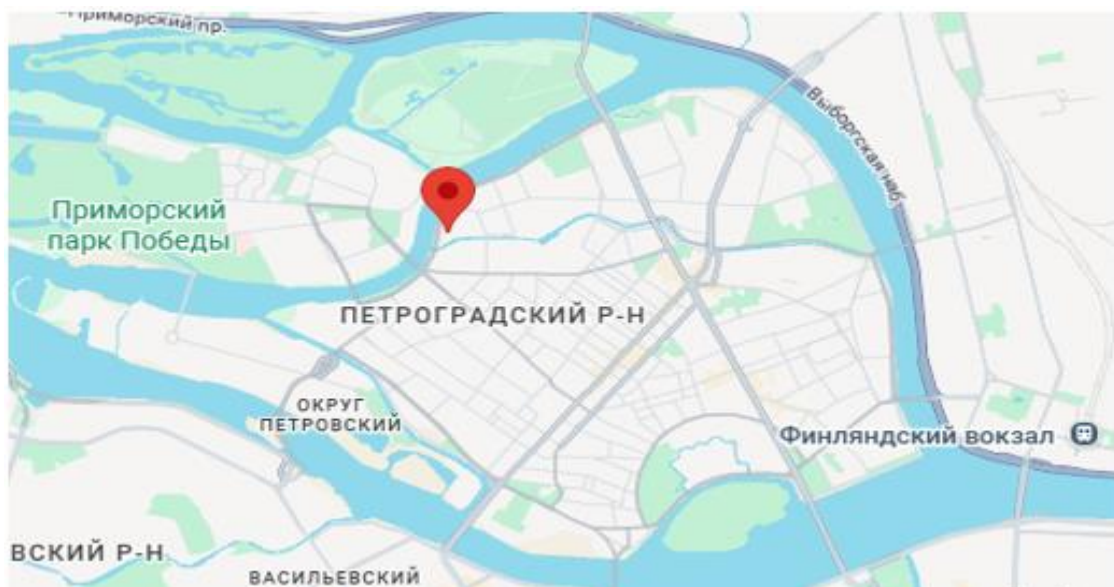


Рисунок 1.1 – Расположение станции СПб

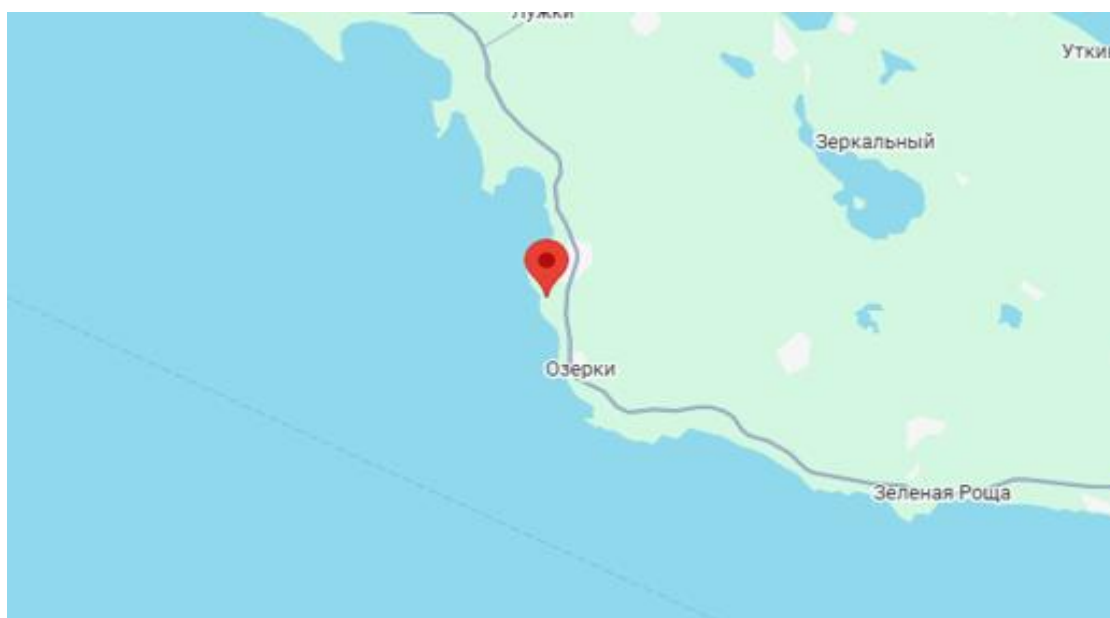


Рисунок 1.2 – Расположение метеостанции Озерки

3. Третья метеостанция «Выборг», Ленинградская область, ул. Орудийная, д. 20, координаты: 60.7247, 28.6957 (рис. 1.4). Так же находится

на северном побережье, как и метеостанция Озерки. Но установлена в небольшом городе, и, в силу своего расположения, может находиться как под влиянием морского, так и континентального климата.

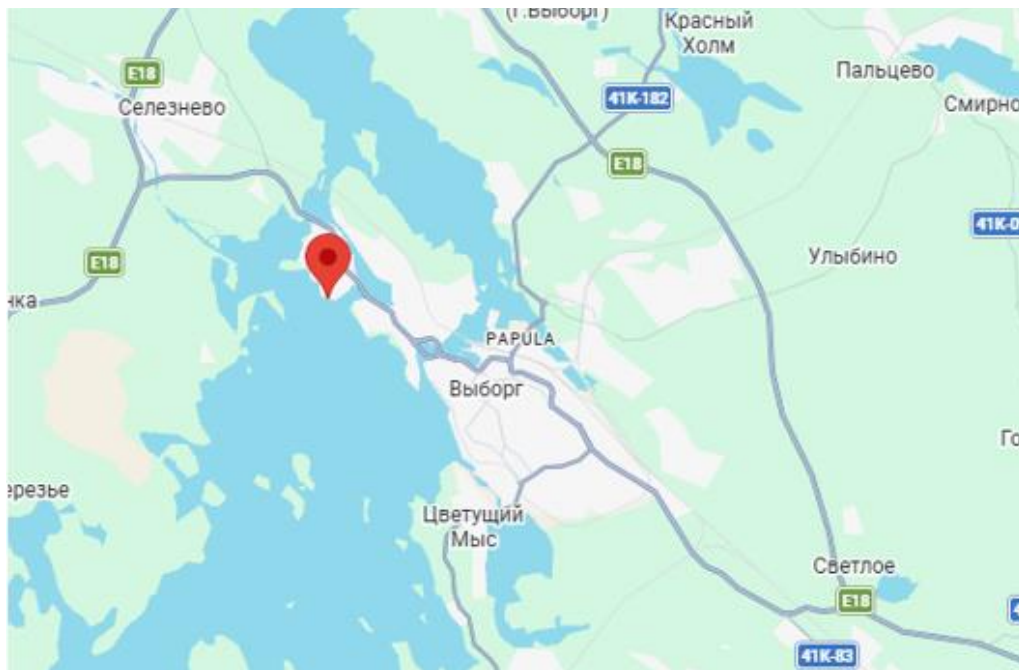


Рисунок 1.3 – Расположение метеостанции Выборг

4. Четвертая метеостанция «Кингисепп», Ленинградская область, ул. Доронина, д. 6, координаты: 59.3671, 28.6012 (рис. 1.4). Данная станция, как и станция «Выборг», установлена в небольшом городе, но на южном побережье залива. Недалеко от места расположения метеостанции находится открытое побережье и порт. Поэтому нельзя исключать вероятность влияния на показания станции как самого залива, так и портовой инфраструктуры.

5. Пятая станция «АДМС на КАД», 116-й километр, внутреннее кольцо, координаты: 59.9158, 29.6611 (рис. 1.5). Данная станция является дорожной, установлена в прибрежной зоне для мониторинга метеопараметров в интересах транспортной безопасности.



Рисунок 1.4 – Расположение метеостанции Кингисепп

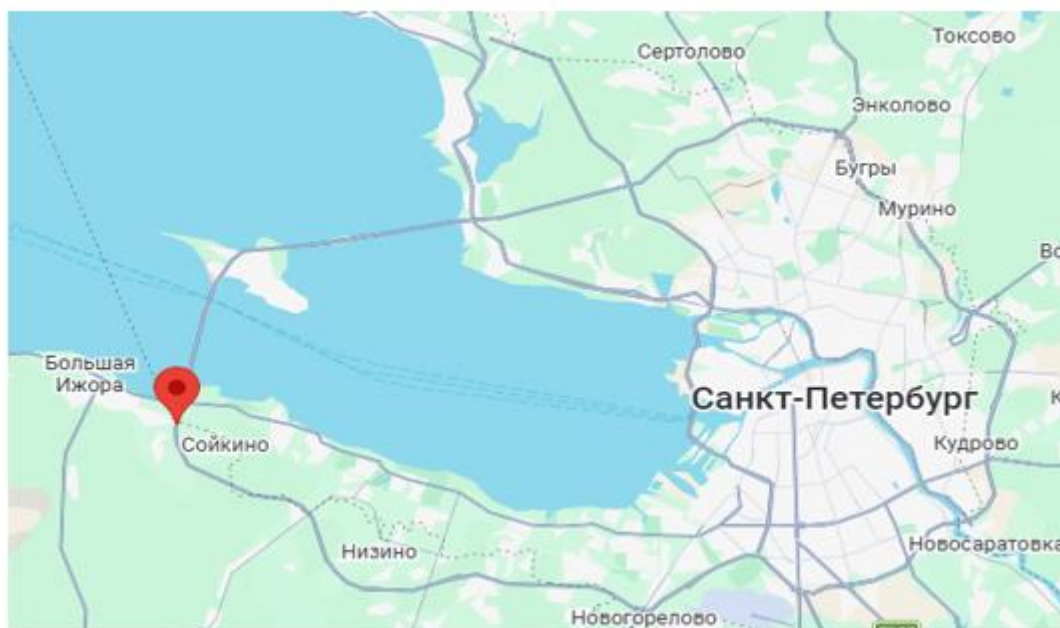


Рисунок 1.5 – Расположение АДМС на КАД

Каждая из отобранных станций уникальна в окружающих условиях. Это может отразиться на расчетах, потому что присутствует и крупный мегаполис, на который будет влиять явление «острова тепла», и небольшой город с бухтами и лесами, и станция, расположенная непосредственно на

берегу залива, и город, который находится в наибольшем удалении от береговой линии (30–40 км), и АДМС на трассе, близкой к заливу.

Тем не менее отобранные станции позволят исследовать пространственное распределение метеопараметров у акватории Финского залива.

2. Климатическое описание района исследования

Для корректного понимания результатов статистического анализа, выполненного в третьей главе, необходимо охарактеризовать территорию, на которой велись наблюдения (рис. 2.1), и выделить индивидуальные черты каждой точки сбора данных.

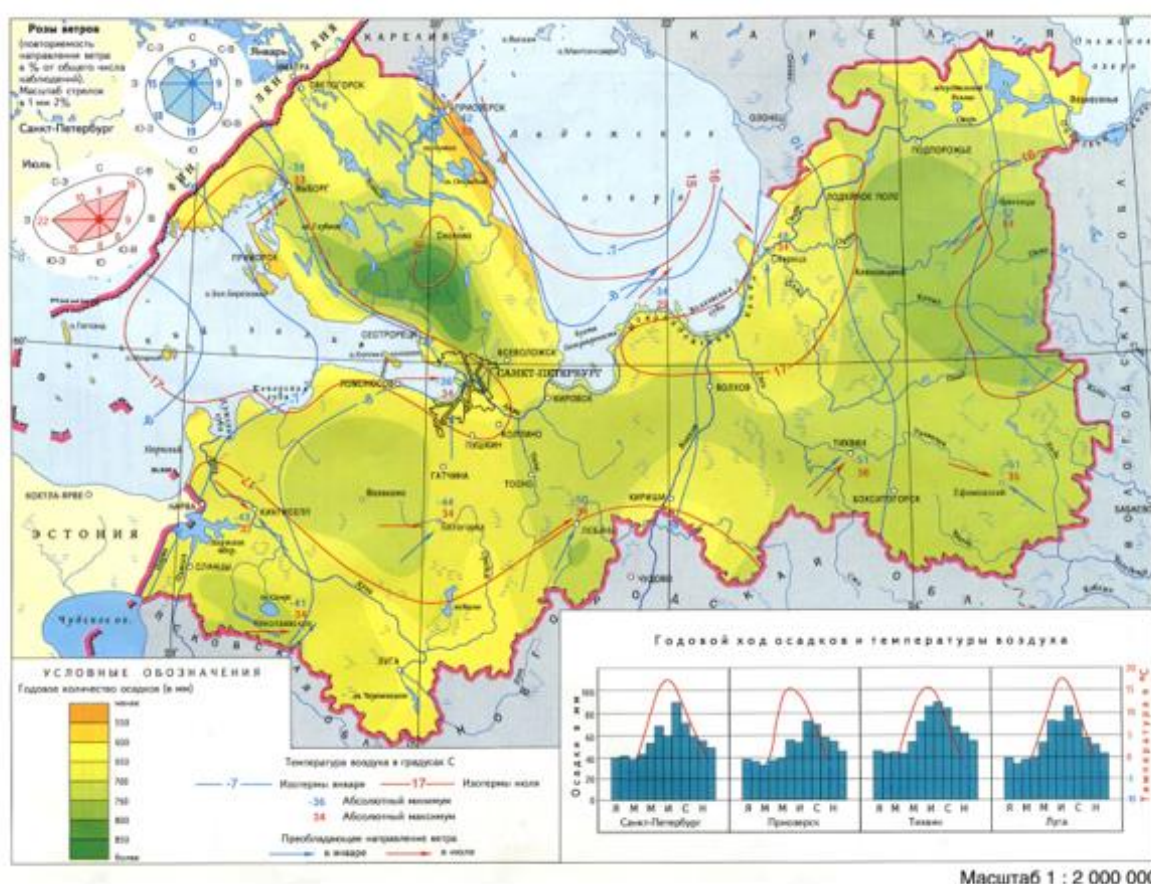


Рисунок 2.1 – Климатическая карта Ленинградской области

В данном разделе рассмотрены общие климатические черты восточной части Финского залива, а также приведены конкретные показатели для пяти станций: Санкт-Петербург, Озерки, Выборг, Кингисепп и автоматической дорожной станции на 116-м километре КАД (АДМС).

2.1 Общий климатический фон региона

Район исследований относится к атлантико-континентальной области умеренного климатического пояса.

Ведущим фактором, определяющим погоду, является западный перенос воздушных масс с Атлантики и Балтийского моря. Это приводит к частой смене циклонов и антициклонов (табл. 2.1), повышенной облачности и значительной влажности [1].

Таблица 2.1 – Климатообразующие факторы Ленинградской области

Климатообразующие факторы	Описание
Циклоническая деятельность Атлантики	Основной «двигатель» погоды, оказывающий смягчающее воздействие на климат по сравнению с другими высокоширотными территориями
Влияние водных объектов	Близость Финского залива, а также крупных внутренних водоёмов (Ладожского и Онежского озёр) обуславливает избыточное увлажнение и сглаживает резкие колебания температур.
Широтное положение	Территория находится всего на 5-8° южнее Северного полярного круга, что определяет низкие углы падения солнечных лучей и малый радиационный баланс, особенно в осенне-зимний период.

Осенний сезон (сентябрь – ноябрь) характеризуется постепенным нарастанием циклонической активности (табл. 2.2). По данным [2], повторяемость южных и юго-западных ветров в этот период достигает 35–40 %. Температура воздуха устойчиво понижается: от +10...+12 °С в первой декаде сентября до отрицательных значений в конце ноября. Суммарные осадки за три месяца обычно лежат в интервале 140–200 мм, причём максимум приходится на октябрь [4].

Доминирующий западный и юго-западный перенос воздушных масс, связанный с циклонической активностью, определяет преобладание

пасмурной, дождливой, но при этом относительно мягкой для этих широт погоды. Влияние Атлантики несколько смягчает климат, поэтому морозы здесь не столь суровы, как в континентальных районах на тех же широтах.

Таблица 2.2 – Циклоническая активность на территории Ленинградской области

Месяц	Циклоническая активность
Сентябрь	Частота циклонических процессов относительно невысока. По данным исследований в юго-восточной части Балтики, в сентябре фиксируется около 8 случаев циклонических полей
Октябрь	Активность циклонов сохраняется на примерно том же уровне, но при этом в конце октября — начале ноября происходит заметное усиление интенсивности штормов и увеличение опасных подъёмов уровня воды
Ноябрь	Характеризуется существенным ростом циклонической активности — число циклонов увеличивается, достигая 15 случаев в ноябре. Это делает погоду в конце осени наиболее нестабильной.

Большая часть осадков (около 70%) выпадает в тёплый период года (с апреля по октябрь). Максимум осадков приходится на август и сентябрь. На побережье максимум осадков сдвигается на осень, что является характерной чертой морского климата умеренных широт. Годовое количество осадков на территории области составляет 700–850 мм. [1].

2.2 Климатические характеристики по отдельным станциям

Ниже представлено описание каждой станции с опорой на справочные данные и результаты собственных наблюдений (розы ветров, статистические показатели).

2.2.1 Санкт-Петербург

Станция (рис. 2.2) расположена в юго-западной части города, на высоте 5–10 м над уровнем моря (координаты: 59.9692, 30.2844.). Из-за

плотной застройки здесь ярко выражен эффект «городского острова тепла»: ночные температуры в среднем на 2–5 °С выше, чем в пригородах [5].

Согласно справочнику [4], средняя многолетняя температура сентября составляет +11,5 °С, октября +5,2 °С, ноября –0,3 °С. Осадков за осень выпадает 180–200 мм. Построенная по фактическим данным роза ветров (см. раздел 3.4) показала доминирование южных и юго-западных румбов; штили зафиксированы в 84 случаях.



Рисунок 2.2 - Северо-западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

2.2.2 Озерки

Пункт находится на северном берегу залива, в посёлке Озерки (рис. 2.3), практически у уреза воды (60°21' с.ш., 28°99' в.д.). Отсутствие крупных зданий позволяет считать эту станцию эталонной для открытой прибрежной зоны.

Справочные значения температур: сентябрь $+10,8^{\circ}\text{C}$, октябрь $+4,5^{\circ}\text{C}$, ноябрь $-1,0^{\circ}\text{C}$ [4]; сумма осадков 160–180 мм. По розе ветров преобладают западные и юго-западные направления, штили встречаются реже, чем в городе (56 случаев).



Рисунок 2.3 – Морская гидрометеорологическая станция Озерки

2.2.3 Выборг

Станция (рис. 2.4) расположена в глубине Выборгского залива, окружённого шхерами и лесами ($60^{\circ}72'$ с.ш., $28^{\circ}69'$ в.д.). Такое положение ослабляет прямое влияние открытого моря, но не изолирует от него полностью.

Климатические нормы [4]: температура сентября $+10,2^{\circ}\text{C}$, октября $+4,0^{\circ}\text{C}$, ноября $-1,5^{\circ}\text{C}$; осадки 150–170 мм. Интересной особенностью

является наименьшее число штилей среди всех станций (24 случая), что, вероятно, связано с канализирующим эффектом узких проливов и активной бризовой циркуляцией. Преобладают ветры южной четверти.



Рисунок 2.4 – Гидрометеорологическая станция Выборг

2.2.4 Кингисепп

Эта станция (рис. 2.5) удалена от берега примерно на 40 км, поэтому её климат близок к континентальному ($59^{\circ}36'$ с.ш., $28^{\circ}60'$ в.д.). Окрестности представляют собой открытые поля и перелески.

Справочные данные [4]: сентябрь $+10,4^{\circ}\text{C}$, октябрь $+4,2^{\circ}\text{C}$, ноябрь $-1,2^{\circ}\text{C}$; осадков 140–160 мм. Роза ветров показала преобладание западных и юго-западных румбов, но зафиксировано большое количество штилей (84 случая) — столько же, сколько в Санкт-Петербурге. Возможная причина — расположение в долине реки Луга, где при слабом градиенте давления воздух застаивается.



Рисунок 2.5 – Гидрометеорологическая станция Кингисепп

2.2.5 Автоматическая дорожная станция «116-й километр КАД»

Пост (рис. 2.6) установлен непосредственно на южном берегу, в полосе отвода КАД (ориентировочные координаты $59^{\circ}91'$ с.ш., $29^{\circ}66'$ в.д.). Асфальтовое покрытие и интенсивное движение создают локальный микроклимат: днём поверхность сильно прогревается, ночью – быстро выхолаживается.

Собственных многолетних норм для этой точки не публикуется, поэтому в работе для ориентира использовались значения соседней станции Санкт-Петербург [4].

Фактические розы ветров (см. раздел 3.4) показали почти полное отсутствие штилей (2 случая) и широкий спектр направлений, включая западные, юго-западные и северо-западные.



Рисунок 2.6 - Автоматическая дорожная станция «116-й километр КАД»

3 Подготовка данных и анализ полученных значений

3.1 Подготовка архивных данных

Были использованы данные с сайта РП5. На данном сайте присутствует раздел архива данных метеорологических измерений и наблюдений, которым я воспользовался, и взял данные для станций Санкт-Петербург, Выборг, Озерки и Кингисепп.

Данные с АДМС 116-й километр КАД были получены из архива данных научного руководителя. Значения метеопараметров и наблюдения были получены в виде архива с файлом Excel. Из этого архива были выбраны основные метеопараметры, которые нужны для понимания о пространственном распределении, а именно: температура, давление, относительная влажность, скорость и направление ветра. Период наблюдений – с 01.09.15 по 30.11.15

Все полученные данные было необходимо привести к нужной дискретности. Изначально дискретность измерений составляла 3 часа, на АДМС – одна минута.

Было принято решение усреднить все суточные измерения до среднесуточных. Это необходимо для устранения влияния регулярного суточного хода, который не связан с межсуточной изменчивостью погоды.

Также стоит отметить, что в исходных данных иногда были пропуски наблюдений. Это достаточно серьезная проблема, потому что пропуск данных, как было выяснено на практике при расчетах, напрямую влияет на результат расчетов коэффициентов корреляции. Так как пропуск был длиной максимум в 4 дня, проблема была решена с помощью линейной интерполяции для температуры и атмосферного давления, среднее арифметическое соседних известных значений для относительной влажности и скорости ветра. Направление ветра бралось по последнему известному.

3.2 Анализ экстремальных и средних значений

В таблице 3.1 приведены максимальные и минимальные значения температуры по месяцам для всех станций. Абсолютный максимум за весь период наблюдений зафиксирован в Санкт-Петербурге в сентябре (+17,5 °С), что связано с эффектом городского «острова тепла». Наименьший минимум (–2,1 °С) зафиксирован на АДМС 116-й км в ноябре. Это можно попытаться объяснить обратным от эффекта «острова тепла». АДМС расположена в удалении от городов, около него только лес и трасса. Нет факторов, которые могли бы удерживать тепло.

Таблица 3.1 – экстремальные значения температуры на всех станциях

макс/мин температура						
	СПб	Озерки	Выборг	Кингисепп	АДМС 116-км	
9	8,46	9,10	9,04	8,44	9,29	мин
	17,50	16,58	15,64	16,38	16,52	макс
10	1,13	0,43	-0,06	-1,54	0,93	мин
	13,03	13,45	11,96	13,39	12,80	макс
11	-0,83	0,19	-1,19	-1,49	-2,11	мин
	8,36	8,71	8,53	8,95	9,32	макс

Можно заметить, что начиная с октября максимальная температура в Санкт-Петербурге становится ниже, чем в Озерках и Кингисеппе, а в ноябре максимальная температура в Санкт-Петербурге самая низкая, в сравнении с другими станциями. Это можно объяснить прогревом прибрежных станций заливом. Эффект «острова тепла» перестает влиять на город в такой степени, чтобы значения температуры были больше, чем на остальных станциях, а прогрев от залива не такой сильный. [5,6]

Стоит обратить внимание, что станция 116-й км КАД в ноябре зафиксировала одновременно самый низкий минимум (–2,1 °С) и самый высокий максимум (+9,3 °С) среди всех пунктов наблюдений. Это объясняется сочетанием двух факторов: расположение на крупной

автомагистрали с асфальтобетонным покрытием, которое днём эффективно прогревается даже при слабом солнце, а ночью интенсивно выхолаживается и отсутствие смягчающего влияния городской застройки (как в СПб). [5]

3.3 Анализ межсуточной изменчивости

Наибольшая изменчивость температуры за все месяцы наблюдается на станции Кингисепп (СКО = 3,6 °С в октябре), что можно объяснить его удаленностью от Финского залива. На остальных станциях температурный контраст сглаживают залив (Озерки, Выборг, АДМС, СПб) и городская застройка (СПб). Заметно, что в октябре и у станции Озерки достаточно высокое СКО (табл. 3.2). Это можно попробовать объяснить открытым расположением станции. Она расположена максимально близко к берегу залива, прямо на пляже, это открытая местность. Вероятно, из-за прибрежного ветра на открытой территории значения температуры могут часто сменяться на более низкие, в сравнении с Выборгом или Санкт-Петербургом.

Таблица 3.2 – СКО за осень по всем станциям.

СКО					
месяц	СПб	Озерки	Выборг	Кингисепп	АДМС 116-км
9	2,0562	1,9318	1,6161	2,1138	1,706
10	3,1786	3,5779	2,8605	3,6287	2,8716
11	2,4474	2,3564	2,4709	2,7503	2,9037

Минимальное значение СКО наблюдается преимущественно в Выборге (1,6 °С в сентябре и 2,8 °С в октябре), что можно объяснить “защищенным” положением города. Лес и бухты сглаживают изменчивость значений температуры.

В ноябре наибольшая изменчивость на АДМС 116-й км КАД. Причина такая же, как и с максимальными и минимальными значениями температуры.

3.4 Корреляционный анализ пространственной связности

Проверим все станции на наличие связи между метеорологическими параметрами.

Исходя из таблицы 3.3 наиболее тесная группа: СПб, АДМС, Выборг ($r > 0,92$).

Наименее связанные пары: Озерки с Кингисеппом и АДМС ($r \approx 0,80$ – $0,82$). Это указывает на то, что Озерки (открытое северное побережье) имеют наиболее своеобразный температурный режим в начале осени, вероятно, из-за прямого влияния ещё тёплой воды.

Таблица 3.3 – коэффициенты корреляции между станциями в сентябре по температуре

	Сентябрь				
	СПб	Озерки	Выборг	Кингисепп	АДМС
СПб	1				
Озерки	0,902	1			
Выборг	0,924	0,916	1		
Кингисепп	0,862	0,824	0,872	1	
АДМС	0,926	0,801	0,867	0,879	1

Из таблицы 3.4 можно сделать вывод, что все корреляции, кроме пары Озерки–Кингисепп, выросли. АДМС стала «центральной» станцией с очень высокими r со всеми, кроме Озерков.

Пара Озерки–Кингисепп – самая слабая ($r = 0,79$), что подтверждает особую позицию Озерков.

В целом, связность усилилась, возможно, из-за активизации циклонов и преобладания западного переноса, который выравнивает поле.

Таблица 3.4 – коэффициенты корреляции между станциями в октябре по температуре

Октябрь					
	<i>СПб</i>	<i>Озерки</i>	<i>Выборг</i>	<i>Кингисепп</i>	<i>АДМС</i>
СПб	1				
Озерки	0,914	1			
Выборг	0,928	0,923	1		
Кингисепп	0,890	0,790	0,884	1	
АДМС	0,972	0,865	0,921	0,929	1

Таблица 3.5 показывает, что общая картина изменилась. СПб и АДМС стали практически дублирующими станциями ($r = 0,986$).

Озерки резко повысили корреляцию с АДМС и Питером, то есть стали более «южными».

Выборг стал менее синхронным со СПб и Кингисеппом (r упали до 0,85 и 0,79). Возможно, в ноябре Выборг начал испытывать большее влияние местных факторов (защищённость бухты, лес, более раннее выхолаживание).

Кингисепп показал высокую связь с АДМС (0,956), но низкую с Выборгом (0,792).

Таблица 3.5 – коэффициенты корреляции по температуре за ноябрь

Ноябрь					
	<i>СПб</i>	<i>Озерки</i>	<i>Выборг</i>	<i>Кингисепп</i>	<i>АДМС</i>
СПб	1				
Озерки	0,951	1			
Выборг	0,846	0,943	1		
Кингисепп	0,922	0,879	0,792	1	
АДМС	0,986	0,962	0,869	0,956	1

Таким образом, к концу осени происходит перегруппировка связей: южные станции (СПб, АДМС, Кингисепп) образуют очень тесный кластер ($r > 0,92$), а северные (Озерки, Выборг) – менее синхронны с ними, особенно Выборг.

Возьмем все три таблицы и проанализируем их данные в масштабе сезона.

Можно сказать, что несмотря на относительно низкую связь определенных станций, значения корреляции достаточно высокие. Это свидетельствует о том, что термическое поле достаточно однородное, особенно в октябре и ноябре. Наименьший коэффициент корреляции за весь сезон был в октябре между станциями Кингисепп-Озерки и составил 0,78. Даже наименьший коэффициент находится в пределах хорошей связности.

Теперь проведем краткий анализ коэффициентов корреляции атмосферного давления, влажности и скорости ветра между станциями (табл. 3.6-3.8).

Таблица 3.6 – корреляция между станциями в сентябре по давлению

	<i>СПб</i>	<i>Озерки</i>	<i>Выборг</i>	<i>Кингисепп</i>	<i>АДМС</i>
СПб	1				
Озерки	0,993	1			
Выборг	0,994	0,994	1		
Кингисепп	0,996	0,994	0,990	1	
АДМС	0,971	0,968	0,968	0,973	1

Таблица 3.7 – корреляция между станциями в октябре по давлению

	<i>СПб</i>	<i>Озерки</i>	<i>Выборг</i>	<i>Кингисепп</i>	<i>АДМС</i>
СПб	1				
Озерки	0,995	1			
Выборг	0,990	0,997	1		
Кингисепп	0,995	0,996	0,989	1	
АДМС	0,995	0,999	0,995	0,995	1

Таблица 3.8 – корреляция между станциями в ноябре по давлению

	<i>СПб</i>	<i>Озерки</i>	<i>Выборг</i>	<i>Кингисепп</i>	<i>АДМС</i>
СПб	1				
Озерки	0,997	1			
Выборг	0,992	0,997	1		
Кингисепп	0,992	0,996	0,986	1	
АДМС	0,996	0,999	0,995	0,996	1

Исходя из таблиц 3.6-3.8 коэффициенты корреляции атмосферного давления между всеми парами станций чрезвычайно высоки ($r > 0,97$) во все месяцы, что подтверждает классическое представление об однородности барического поля в пределах ограниченного региона. Даже пара Санкт-Петербург – Кингисепп, показавшая минимальную корреляцию по температуре, по давлению имеет $r = 0,99$

Таблица 3.9 – корреляция между станциями в сентябре по влажности

	<i>СПб</i>	<i>Озерки</i>	<i>Выборг</i>	<i>Кингисепп</i>	<i>АДМС</i>
СПб	1				
Озерки	0,835	1			
Выборг	0,543	0,721	1		
Кингисепп	0,789	0,719	0,580	1	
АДМС	0,816	0,778	0,606	0,849	1

Таблица 3.10 – корреляция между станциями в октябре по влажности

	<i>СПб</i>	<i>Озерки</i>	<i>Выборг</i>	<i>Кингисепп</i>	<i>АДМС</i>
СПб	1				
Озерки	0,817	1			
Выборг	0,829	0,879	1		
Кингисепп	0,842	0,822	0,873	1	
АДМС	0,913	0,829	0,872	0,860	1

Таблица 3.11 – корреляция между станциями в ноябре по влажности

	СПб	Озерки	Выборг	Кингисепп	АДМС
СПб	1				
Озерки	0,772	1			
Выборг	0,625	0,666	1		
Кингисепп	0,758	0,813	0,615	1	
АДМС	0,762	0,627	0,735	0,784	1

Пространственная связность влажности ожидаемо ниже, чем давления. Значения корреляции варьируют от 0,57 до 0,91. Наименьшая связность наблюдалась между Выборгом и Санкт-Петербургом и Выборгом и Кингисеппом. Причина такая же, как и в случае с температурой. У Выборга уникальное положение – бухта и лес. В таких условиях влажность достаточно хорошо сохраняется.

Корреляционный анализ скорости ветра выявил ярко выраженную сезонную динамику.

В сентябре связи умеренные ($r = 0,51\text{--}0,80$), при этом наименьшие значения отмечены для пары АДМС–Озерки (0,510).

В октябре все корреляции снижаются, достигая минимума (АДМС–Озерки $r = 0,232$), что свидетельствует о доминировании локальных факторов (застройка, лес, асфальт) над региональными ветровыми процессами.

В ноябре, напротив, происходит резкий рост корреляций (до 0,66–0,91), и даже ранее слабо связанные пары демонстрируют высокую синхронность. Это объясняется установлением устойчивого западного переноса и активизацией циклонической деятельности, которые нивелируют локальные различия. Наиболее однородное поле скорости ветра наблюдается именно в ноябре.

Таблица 3.12 – корреляция между станциями в сентябре по скорости ветра

	<i>СПб</i>	<i>Озерки</i>	<i>Выборг</i>	<i>Кингисепп</i>	<i>АДМС</i>
СПб	1				
Озерки	0,798	1			
Выборг	0,759	0,804	1		
Кингисепп	0,791	0,611	0,676	1	
АДМС	0,675	0,510	0,536	0,663	1

Таблица 3.13 – корреляция между станциями в октябре по скорости ветра

	<i>СПб</i>	<i>Озерки</i>	<i>Выборг</i>	<i>Кингисепп</i>	<i>АДМС</i>
СПб	1				
Озерки	0,622	1			
Выборг	0,684	0,748	1		
Кингисепп	0,742	0,477	0,722	1	
АДМС	0,618	0,232	0,569	0,553	1

Таблица 3.14 – корреляция между станциями в ноябре по скорости ветра

	<i>СПб</i>	<i>Озерки</i>	<i>Выборг</i>	<i>Кингисепп</i>	<i>АДМС</i>
СПб	1				
Озерки	0,848	1			
Выборг	0,844	0,769	1		
Кингисепп	0,871	0,659	0,863	1	
АДМС	0,892	0,768	0,913	0,908	1

Теперь рассмотрим ход температуры воздуха на пяти метеостанциях.

В сентябре (рис. 3.1) на всех станциях прослеживается устойчивый ход температуры с постепенным понижением к концу месяца. Наиболее тёплой станцией на протяжении почти всего месяца является Санкт-Петербург, что объясняется влиянием городского «острова тепла». Близкие к нему значения демонстрируют Озерки (северное побережье), что, вероятно, связано с обогревающим воздействием ещё не остывшей водной поверхности Финского залива.

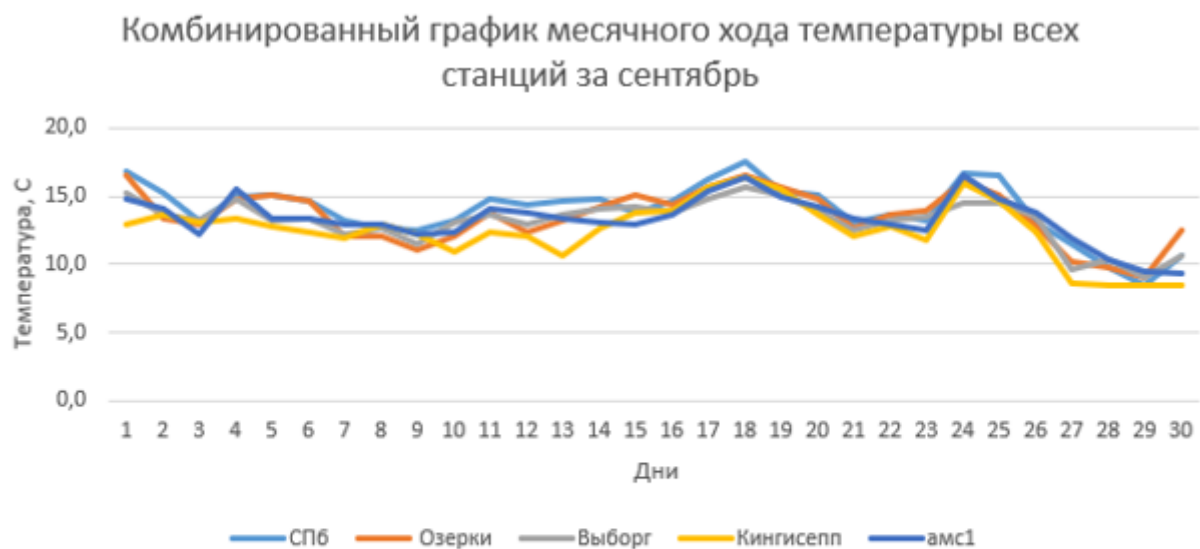


Рисунок 3.1 – комбинированный график месячного хода температуры за сентябрь

Самая низкая температура в сентябре систематически отмечается на станции Кингисепп, которая расположена на удалении около 40 км от берега и в большей степени подвержена континентальному выхолаживанию.

Станции Выборг и АДМС занимают промежуточное положение.

Временные ряды всех станций изменяются синхронно: периоды потепления и похолодания совпадают, что подтверждается высокими коэффициентами корреляции. Резких скачков температуры не зафиксировано. Наиболее заметное событие – монотонное понижение температуры, начавшееся с 24 сентября, которое продолжалось до конца месяца.

Разброс между максимальной и минимальной температурой (как правило, между Санкт-Петербургом и Кингисеппом) в течение сентября остаётся постоянным и составляет в среднем 2–3 °C. Аномальных выбросов (когда какая-либо станция резко отклонялась бы от общего хода) не наблюдалось.

В октябре (рис. 3.3) пространственная картина температурного поля меняется по сравнению с сентябрем. Наиболее тёплыми станциями становятся Озерки и Санкт-Петербург, причём Озерки часто опережают даже

мегаполис. Это объясняется тепляющим эффектом Финского залива, который в октябре ещё сохраняет положительную температуру воды, тогда как суша уже значительно выхолодилась. Станция Озерки, расположенная непосредственно на открытом северном побережье, максимально подвержена этому влиянию.

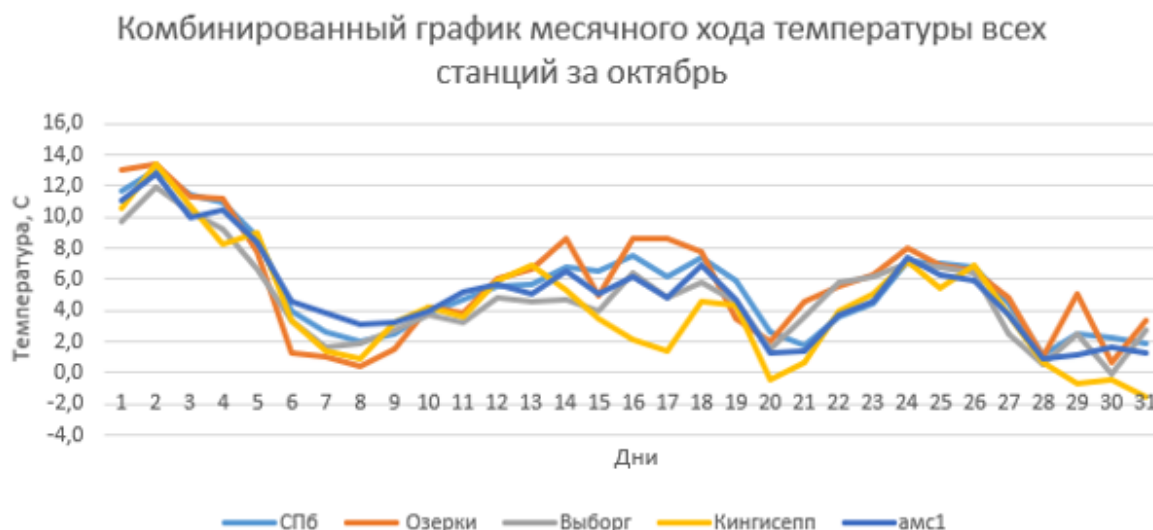


Рисунок 3.2 – комбинированный график месячного хода температуры за октябрь

Временные ряды всех станций в целом изменяются синхронно, что подтверждается высокими коэффициентами корреляции. Однако в отдельные периоды синхронность нарушается: Озерки периодически оказываются на 2–3 °С выше остальных, а в конце месяца (29 октября) этот разрыв достигает 5 °С, тогда как на других станциях температура составляет 1–2 °С.

Основные особенности октября:

2–8 октября – резкий спад температуры с +14 °С до 0 °С. Это наиболее интенсивное похолодание за весь осенний период.

8–14 октября – рост температуры до +8 °С.

14–18 октября – плато с незначительными колебаниями.

18–20 октября – новое понижение до -0,5 °С.

20–28 октября – повышение до +8 °С, затем постепенное снижение до +1,5 °С к 28 октября.

28–31 октября – небольшое понижение с тенденцией к нулю, причём 29 октября фиксируется аномально высокое значение в Озерках (на 5 °С выше остальных).

Ноябрь (рис. 3.3) характеризуется наибольшей изменчивостью температурного режима и перегруппировкой «лидеров» по сравнению с предыдущими месяцами. В начале месяца самые высокие температуры отмечаются на станциях АДМС и Кингисепп, тогда как Выборг оказывается самым холодным. В середине месяца наиболее тёплыми становятся Кингисепп и Озерки, а в конце - Выборг и Озерки. Самыми холодными в конце месяца оказываются АДМС и Кингисепп, то есть происходит полная смена ролей по сравнению с началом ноября.

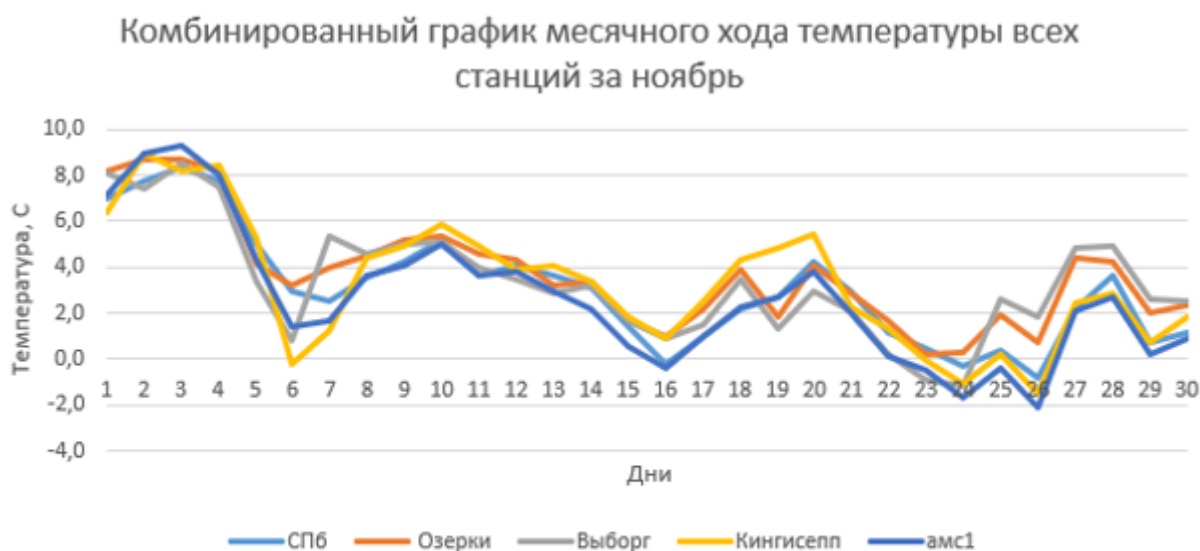


Рисунок 3.3 – комбинированный график месячного хода температуры за ноябрь

Все станции движутся синхронно, однако наблюдаются интересные особенности:

1–4 ноября: температура держится в диапазоне +7–9 °С.

4–6 ноября: резкий спад до $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (наиболее интенсивное похолодание месяца).

6–10 ноября: повышение до $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (максимум 10 ноября).

10–16 ноября: плавное понижение до $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

16–20 ноября: колебания между $+2$ и $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

20–26 ноября: плавный спад до абсолютного минимума сезона $-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (зафиксирован на АМС1 или Кингисеппе, согласно п. 3.2.1).

26–30 ноября: повышение до $2\text{--}3\text{ }^{\circ}\text{C}$ с периодическими спадами до $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Аномалии: В период 18–20 ноября станция Кингисепп заметно выделяется на общем фоне. В то время как на остальных станциях 19 ноября происходит небольшой спад с $+4$ до $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$, в Кингисеппе температура, наоборот, возрастает до $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$. После этого ход возвращается к синхронному.

Штили (рис 3.4-3.8).

Максимальное число штилей зафиксировано в Санкт–Петербурге и Кингисеппе (по 84 случая). Это объясняется тем, что оба пункта расположены в условиях, способствующих застою воздуха: в городе - из-за экранирующего влияния застройки, в Кингисеппе – из-за удалённости от моря и меньшей ветровой активности.[2],[3]

Минимум штилей – на АДМС (2 случая), что типично для открытого побережья (южный берег) и наличия дорожной инфраструктуры, усиливающей турбулентность. Выборг также отличается низкой повторяемостью штилей (24 случая), что согласуется с его расположением на берегу Выборгского залива, где бризовая циркуляция и местные ветры препятствуют штилю.[2]

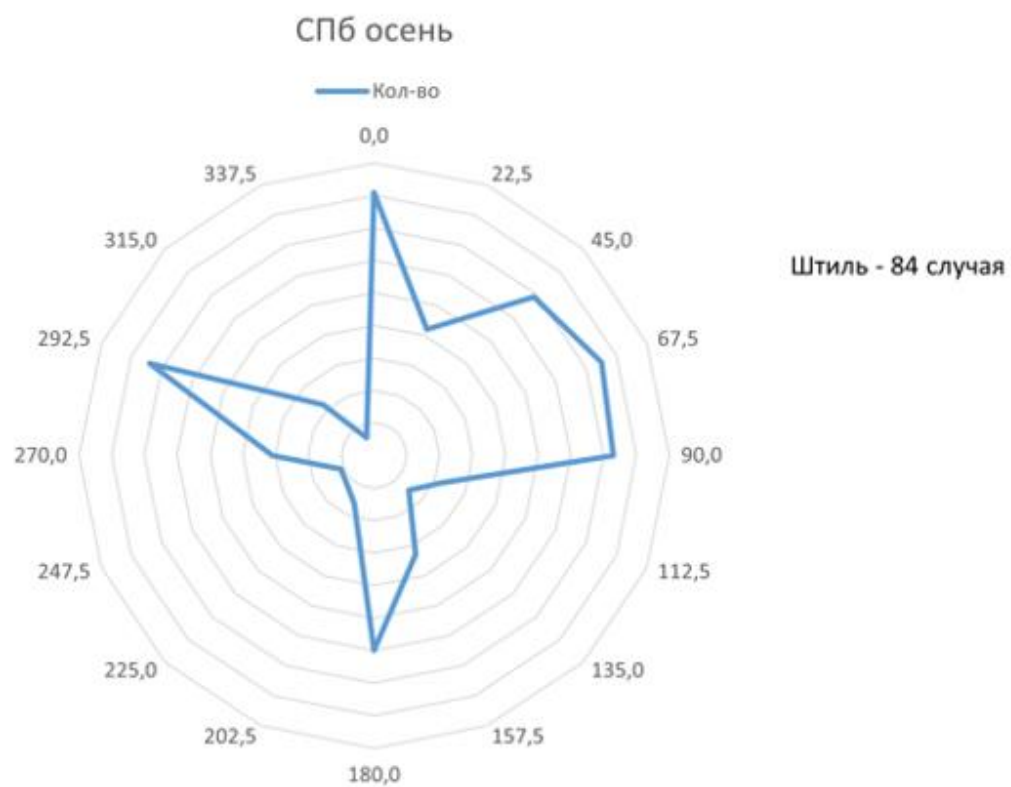


Рисунок 3.4 – роза ветров для Санкт-Петербурга за осенний период

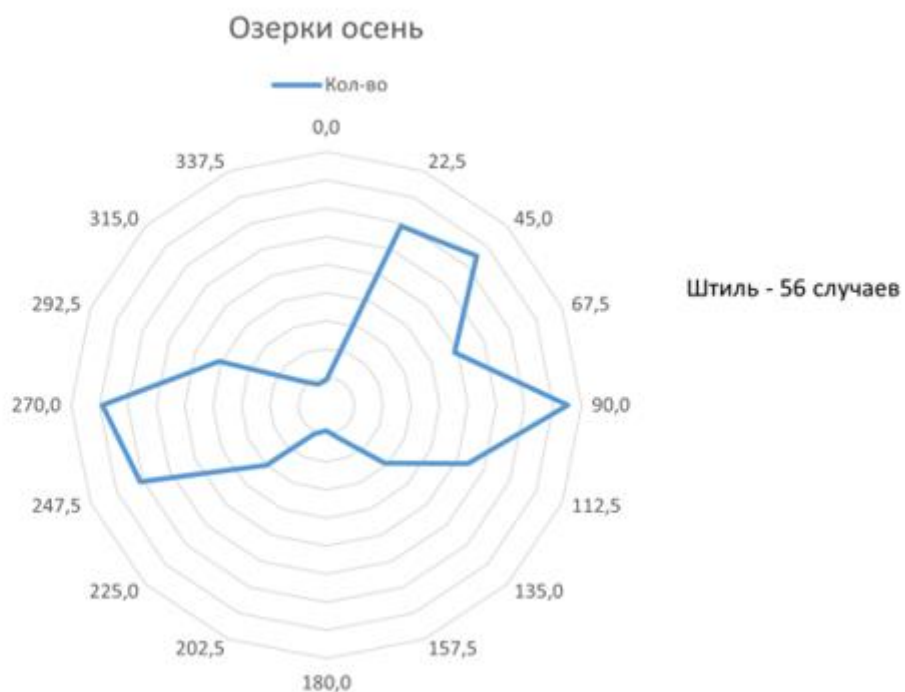


Рисунок 3.5 – роза ветров для станции Озерки за осенний период

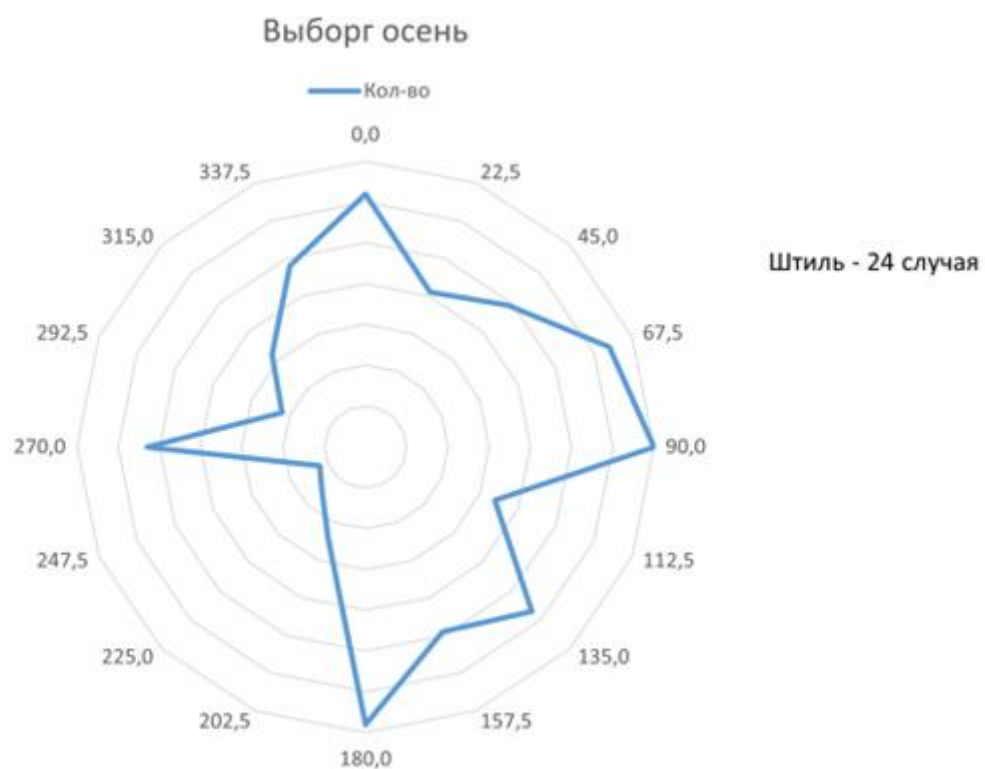


Рисунок 3.6 – роза ветров для Выборга за осенний период

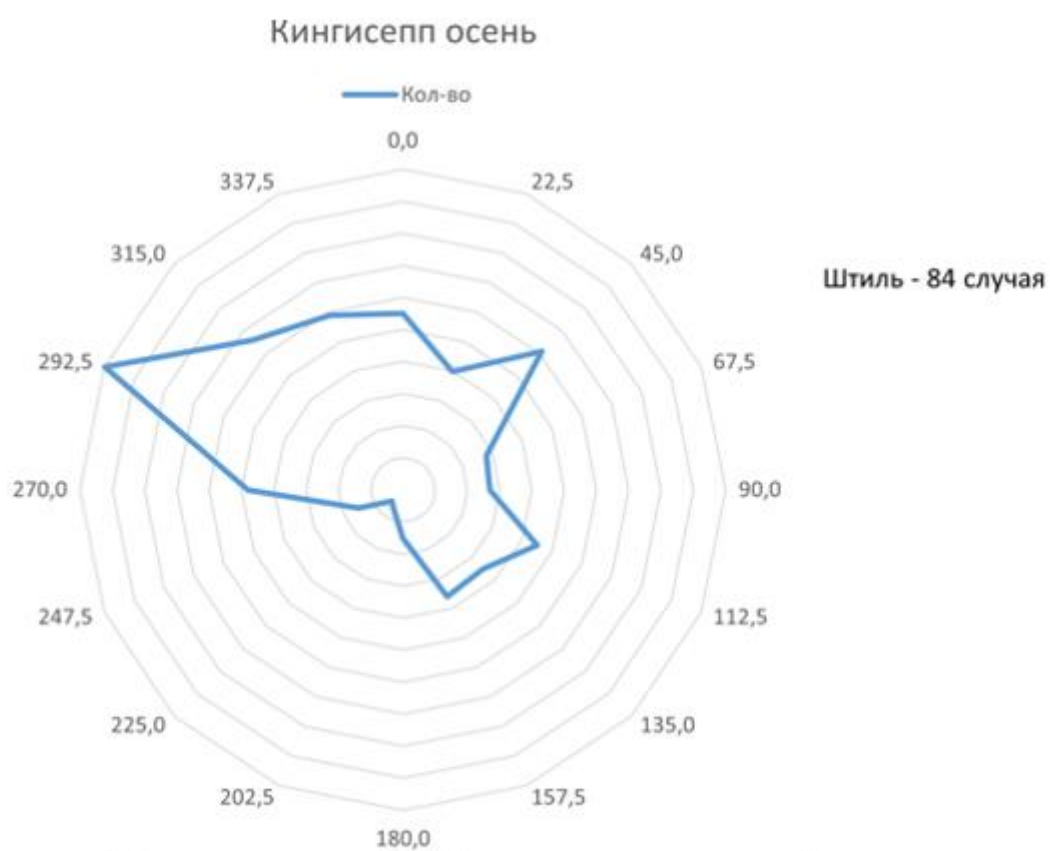


Рисунок 3.7 – роза ветров для Кингисеппа за осенний период

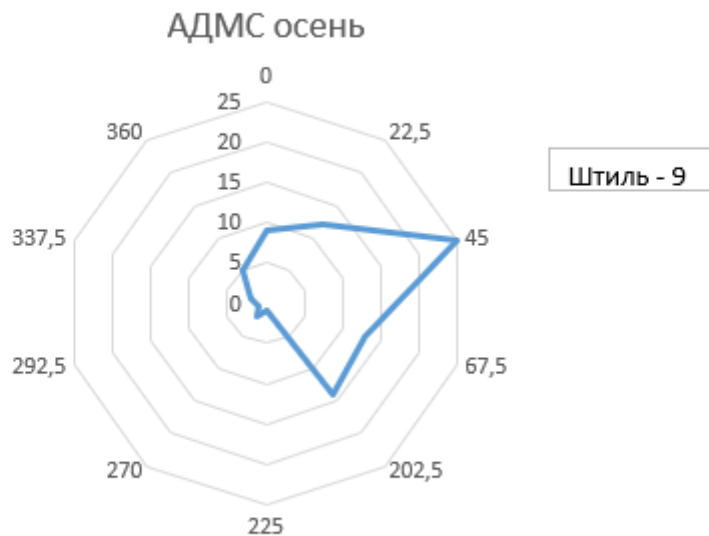


Рисунок 3.8 – роза ветров для АДМС 116-й км КАД за осенний период

Преобладающие направления. На всех станциях, кроме АДМС, доминируют ветры южной и юго-западной четверти (от 180° до $247,5^\circ$). Это соответствует климатической норме для осени (западный перенос, атлантические циклоны).

На АДМС роза ветров более равномерная, с заметной долей северо-западных (315°) и северных ветров – возможно, из-за локальной орографии (разворот берега) и отсутствия застройки с севера.

Сравнение прибрежных станций.

Озерки и Выборг, оба на северном побережье, различаются по числу штилей (56 против 24). Выборг, находящийся в глубине Выборгского залива и окружённый шхерами, имеет более активный ветровой режим. Озерки, несмотря на открытое положение, имеет больше штилей, возможно, из-за сезонного затишья в сентябре.

Кингисепп (южное побережье, удалён от моря) парадоксально много штилей – столько же, сколько и в Санкт-Петербурге. Объяснение: станция расположена в долине реки Луга, в окружении полей и невысоких построек, что при отсутствии сильного барического градиента способствует формированию штилей.

АДМС выделяется наиболее «развитой» розой ветров – почти все румбы имеют заметную повторяемость, а штили практически отсутствуют. Это типично для открытого южного побережья, где ветер дует постоянно, особенно при прохождении циклонов. Присутствие северо–западных ветров может указывать на влияние холодных вторжений, которые в АДМС фиксируются лучше, чем в других пунктах.

Розы ветров подтверждают, что ветровой режим в восточной части Финского залива в осенний период определяется преимущественно западным переносом воздушных масс с Атлантики (южные и юго-западные направления).[2]

Наибольшая повторяемость штилей характерна для урбанизированного Санкт-Петербурга и континентального Кингисеппа, наименьшая – для АДМС (открытое побережье). Выборг и Озерки занимают промежуточное положение, причём на удивление в Выборге оказалось достаточно мало штилей, в сравнении с остальными станциями, что может объясняться местной орографией и бризовой циркуляцией.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были решены задачи, связанные с исследованием пространственного распределения метеорологических величин (температуры воздуха, атмосферного давления, относительной влажности и скорости ветра) в восточной части Финского залива в осенний период (сентябрь – ноябрь). В качестве исходных данных использовались измерения пяти метеорологических станций: Санкт-Петербург, Озерки, Выборг, Кингисепп и автоматическая дорожная станция на 116-м километре КАД (АДМС).

В процессе выполнения работы:

- Произведена предварительная обработка исходных данных: все временные ряды приведены к среднесуточной дискретности (исходные измерения с 3–4 часовым интервалом усреднены для исключения влияния суточного хода), выполнено восстановление коротких пропусков (до 4 дней) с использованием методов, адекватных физической природе каждой величины – линейной интерполяции для температуры и давления, заполнения средним арифметическим для влажности и скорости ветра.
- Рассчитаны основные статистические характеристики для каждой станции по месяцам: средние значения, экстремумы (максимумы и минимумы), среднеквадратическое отклонение (СКО) как мера межсуточной изменчивости.
- Построены и проанализированы матрицы парных коэффициентов корреляции Пирсона для всех пяти станций по каждому месяцу; вычислены средние корреляции и выявлены пары с максимальной и минимальной пространственной связностью для каждой метеорологической величины.

- Выполнен анализ временного хода температуры (совмещённые графики по месяцам) и построены розы ветров для каждой станции за осенний сезон.
- Проведена интерпретация полученных статистических показателей в связи с физико-географическими условиями расположения станций и климатическими особенностями осеннего периода.

Основные результаты и выводы работы:

Температура воздуха является наиболее показательной величиной для анализа пространственной неоднородности. Выявлена чёткая сезонная смена «температурного лидера»:

- в сентябре максимальные температуры зафиксированы в Санкт-Петербурге (эффект городского «острова тепла»);
- в октябре и ноябре лидерство переходит к прибрежным станциям Озерки и Выборг, что обусловлено отепляющим влиянием ещё не остывшей водной поверхности Финского залива (классический пример смягчающего воздействия моря на климат прибрежных территорий).

Атмосферное давление продемонстрировало очень высокую пространственную связность (коэффициенты корреляции между любыми парами станций $r > 0,97$ во все месяцы), что подтверждает фундаментальное положение метеорологии об однородности барического поля в пределах локального региона. Аномалий давления не выявлено.

Относительная влажность показала умеренную и слабую пространственную связность (средние $r = 0,5–0,7$). Наиболее низкие корреляции зафиксированы для пар, включающих Выборг (с Санкт-Петербургом и Кингисеппом), что объясняется особым микроклиматом Выборгской бухты (шхеры, лесные массивы, защищённость от ветров). Отрицательные корреляции, наблюдавшиеся на предварительном этапе,

после восстановления пропусков исчезли, что подтвердило правильность выбранных методов интерполяции.

Скорость ветра – наиболее локально изменчивый параметр. Корреляции ветра в сентябре и октябре низкие ($r = 0,23-0,80$), причём минимальные значения отмечены для пары АДМС–Озерки. Однако в ноябре, с установлением устойчивого западного переноса и активизацией циклонов, все корреляции резко возрастают (до $r = 0,66-0,91$). Это важное наблюдение: сильный циклонический ветер «забивает» локальные помехи, делая поле скорости ветра пространственно-однородным.

Анализ СКО (межсуточной изменчивости) показал, что:

- максимальная изменчивость температуры характерна для Кингисеппа (удалённость от моря) и Санкт-Петербурга (сочетание «острова тепла» и смены воздушных масс);
- минимальная – для Выборга в сентябре – октябре (защищённое положение бухты);
- Озерки в октябре неожиданно показали высокое СКО ($3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), сопоставимое с Кингисеппом, что объясняется частой сменой морского и континентального воздуха на открытом побережье.

Розы ветров подтвердили доминирование южных и юго-западных направлений на всех станциях, что соответствует климатической норме (западный перенос, атлантические циклоны). Наименьшее число штилей зафиксировано на АДМС (9 случаев) и в Выборге (24), наибольшее – в Санкт-Петербурге и Кингисеппе (по 84). Широкий спектр направлений на АМС1 объясняется открытым южным побережьем и наличием автотрассы, генерирующей турбулентность.

Сравнительный анализ станций позволил выявить устойчивые пространственные градиенты:

- северные прибрежные станции (Озерки, Выборг) осенью теплее южных и континентальных благодаря влиянию залива;

- урбанизированный Санкт-Петербург выделяется «островом тепла» в сентябре, но к ноябрю его преимущество нивелируется;
- Кингисепп (удалён от моря) – самый холодный и наиболее изменчивый пункт;
- АДМС – самая ветреная станция с минимальным числом штилей, что типично для открытого побережья.

Таким образом, поставленная цель работы – выявить количественные характеристики пространственной структуры метеорологических полей в восточной части Финского залива в осенний период – достигнута. Полученные результаты (коэффициенты корреляции, значения СКО, характерные градиенты температуры, особенности ветрового режима) могут быть использованы для пространственной интерполяции метеопараметров при подготовке локальных прогнозов, для оценки репрезентативности отдельных станций, а также для верификации численных моделей погоды в регионе.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на анализ более длительных временных рядов (включая несколько лет).

Список использованных источников

1. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология: учебник для вузов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Московского университета: КолосС, 2004. — 582 с.
2. Кислов А.В. Климатология с основами метеорологии: учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Московского университета, 2023. – 255 с.
3. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометиздат. – 2000. – 548 с.
4. Климатологический справочник СССР. Выпуск 20. Ленинградская область. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 350 с. (таблицы 12, 18, 24).
5. Гинзбург А.С., Евсиков И.А., Фролькис В.А. Зависимость антропогенного потока тепла от температуры воздуха (на примере Санкт-Петербурга) // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2021. – Т. 57. – № 5. – С. 526–538.
6. Жаркова А.В., Орипова А.А. Спутниковое картирование динамики «островов тепла» г. Санкт-Петербурга // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29. – № 4. – С. 61–70.
7. ФГБУ «Северо-Западное УГМС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meteo.nw.ru> (дата обращения: 07.06.2026).
8. Росгидромет. Перечень станций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.meteorf.gov.ru> (дата обращения: 07.06.2026).