



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

Кафедра метеорологии, климатологии охраны атмосферы

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему: «Исследование особенностей Острова тепла Санкт-Петербург»

**Исполнитель** Зайцев Илья Олегович

(фамилия, имя, отчество)

**Руководитель** кандидат физико-математических наук  
(ученая степень, ученое звание)

Кашлева Лариса Владимировна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

И.о. заведующего кафедрой

(подпись)

Кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Абанников В.Н.

(фамилия, имя, отчество)

« 15 » 06 2021 г.

Санкт-Петербург

2021

## Содержание

Введение.....	3
1 Теоретические положения о климате, острове тепла.....	7
1.1 Понятие острова тепла.....	7
1.2 Причины образования.....	9
1.3 Влияние городского острова тепла .....	18
1.4 Спутниковое изучение острова тепла.....	23
2 Физико-географические и климатические описания города Санкт-Петербурга и Ленинградской области .....	27
2.1 Физико-географическое описание Санкт-Петербурга.....	27
2.2 Климат Санкт-Петербурга.....	34
3 Анализ температурного режима и режима осадков на территории города Санкт- Петербурга и Ленинградской области 2018-2020 гг. ....	47
3.1 Исходные данные для анализа температурного режима и режима осадков .....	47
3.2 Анализ распределения и изменения острова тепла Санкт-Петербурга с использованием спутниковых данных .....	55
3.2.1 Методика проведения исследования .....	55
3.2.2 Результаты проведения исследования.....	59
Заключение .....	61
Список использованной литературы.....	65
Приложение .....	69

## Введение

Городской климат относится к явлениям мезомасштаба, которые имеют протяжённость десятки километров по горизонтали и сотни метров - по вертикали. Поле температуры над городом характеризуется одной или более замкнутыми изотермами, получившими название городского острова тепла. В результате многочисленных исследований в разных городах получено, что среднегодовые температуры крупных городов превышают температуры в окрестностях в среднем на 1-2°C. Остров тепла проявляется по-разному в зависимости от масштабов города, климатических условий, сезона года, суток.

Актуальность данной работы выражается в том, что в городской среде происходит сильнейшее антропогенное воздействие на все компоненты ландшафта. Одним из факторов, значительно преобразующим экосистему города, является запечатывание дневной поверхности почвенного покрова плотными слабо влагопроницаемыми дорожными покрытиями (асфальтобетон, цементные плиты, щебень и др.). Весьма неблагоприятным и малоисследованным аспектом запечатанности поверхности является эффект острова тепла: накапливание тепла на территории города за счет значительного снижения альбедо асфальтобетонных покрытий по сравнению с естественными ландшафтами. Для крупных городов контрасты температур город-пригород составляет 1- 3°C. Однако при соответствующих погодных условиях «остров тепла» может отличаться от пригорода на 10°C и более. Подобные условия в приземном слое атмосферы являются неблагоприятными, препятствуя естественной циркуляции воздушных масс, что способствует увеличению концентрации загрязняющих веществ в городском воздухе.

Изучение городского острова тепла очень важно не только с научной стороны, но и для учета наиболее вредных и опасных для населения и окружающей среды метеорологических условий. Новые результаты закономерностей формирования острова тепла позволят расширить возможности системы раннего предупреждения о гидрометеорологических

явлениях.

Применительно к Санкт-Петербургу, в том числе по причине подверженности его территории наводнениям, было выполнено большое количество специальных климатических и гидрологических исследований, накоплены одни из самых продолжительных рядов данных о температуре приземного воздуха, количестве атмосферных осадков и уровне моря не только в России, но и в мире, представляющие ценнейший материал для специалистов, изучающих динамику глобального потепления и «городского острова тепла».

Степень разработанности проблемы. Теоретические основы изучения климата городов лежат в классических трудах отечественных ученых по климатологии и метеорологии (А.И. Воейков, М.И. Будыко, Б.В. Алисов, Л.С. Берг; Т.Р. Оке, Ю.П. Переведенцев и др.); в исследованиях по комплексной климатологии (Е.Е. Федоров, Л.А. Чубуков); архитектурной и градостроительной климатологии (М.С. Горомосов, Ю.Д. Губернский, Н.П. Былинкин, Б.М. Давидсон, В.К. Лицкевич, Ф.Л. Серебровский, С.Б. Чистякова и др. Исследователи занимающиеся пространственно-временной динамикой островов тепла: А.В. Мирнова, Т.Г. Перцева, Т.С. Peterson, Q. Weng, D.A. Quattrochi.

В то же время отмечается недостаточное внимание исследователей к разработке проблем и методик анализа микроклиматической дифференциации температурных показателей городской среды, температурных аномалий и влияния архитектурной застройки на распределение показателей температуры и осадков на урбанизированных территориях, в том числе с использованием технологий геоинформационного анализа.

Объект исследований –температурные показатели и аномалии в пределах урбанизированных территорий города Санкт-Петербург, Россия.

Предметом исследования являются показатели динамики температур поверхности земли в «островах тепла» на указанной территории.

Цель работы - анализ температурных данных урбанизированных территорий в пределах города Санкт-Петербург по данным метеостанций и

спутниковым данным.

Исходя из поставленной выше задачи, были определены следующие задачи:

- рассмотреть теоретические положения о климате, острове тепла;
- представить физико-географические и климатические описания рассматриваемых территорий;
- провести анализ температурного режима и режима осадков на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области 2018-2020 гг.

Методология и методы исследования. Оценка влияния современных изменений климатических условий на устойчивое градостроительное развитие Санкт-Петербурга осуществлялась с использованием системного подхода. Наблюдающиеся и прогнозируемые изменения климатических показателей на территории Санкт-Петербурга были проанализированы и оценены на основе методов обработки гидрометеорологической информации. Также используются статистические методы обработки информации.

Теоретической основой данной работы являются монографии, учебные и научные работы, статьи в периодических печатных и электронных изданиях отечественных и зарубежных авторов в области климатологии, метеорологии, экологии, таких как: С. П. Хромов, М. А. Петросянц, Т. Р. Оке, Е.А. Балдина, П.И. Константинов, А. П. Лосев, Ю.А. Израэль, Г.В. Груза, А. В. Кислов, Г. И. Пиловец, Н.Д. Голубева, С.С. Андреев, А.А. Павловский, Д. А. Гурьянов, Л.А. Куликова, G. Golany, J. M. Mitchell Jr.

Научная новизна работы связана с тем, что выявлены данные по острову тепла в городе Санкт-Петербург в зависимости от месяца, сезона года, времени суток и погодных условий.

Теоретическая и практическая значимость работы определяется прогрессом в исследовании особенностей проявления и последствий глобального потепления на урбанизированных территориях.

Практическая значимость исследования: изучение данного явления

необходимо для уменьшения негативных последствий с целью улучшения качества жизни городского населения города Санкт-Петербурга.

Также полученные данные об острове тепла могут быть использованы в муниципальных структурах, таких как ЖКХ и ТЭЦ для уменьшения тепловых потерь.

В структуре данной работы можно выделить следующие составные части: введение, три главы основного содержания, заключение, список использованной литературы, приложения. Работа содержит \_\_ рисунков, \_\_ таблиц, \_\_ приложений, список литературы состоит из \_\_ наименований.

Первая глава посвящена теоретическому описанию положения о климате, острове тепла. Включает в себя освещение вопросов определения понятия острова тепла, исследуются причины его образования и влияние различных процессов на развитие городского острова тепла. Отдельный параграф посвящен описанию методов спутникового изучения островов тепла.

Во второй главе дана физико-географическая и климатическая характеристика территории города Санкт-Петербург и Ленинградской области.

В третьей главе проводится анализ температурного режима и режима осадков на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области 2018-2020 гг.: представлены исходные данные температурного режима и режима осадков, а также проанализировано распределения и изменения острова тепла Санкт-Петербурга с использованием спутниковых данных.

## 1 Теоретические положения о климате, острове тепла

### 1.1 Понятие острова тепла

Климат города нельзя рассматривать изолированно. Он, как и всякий климат, является статистической совокупностью множества ежедневных погодных событий, происходящих на территории города. Погодные условия в любой местности регулируются крупномасштабными атмосферными явлениями. Каждый из городских районов изменяет в большей или меньшей степени локальные условия в тонком слое воздуха над поверхностью земли, называемом атмосферным пограничным слоем. Данное своеобразие условий, вызванное особенностями подстилающей поверхности, называют микро- или мезоклиматами.

Взаимодействие между явлениями синоптического и локального масштаба напоминают постоянно качающиеся качели. Иногда доминирующее влияние оказывают крупномасштабные погодные процессы, при другой погодной ситуации превалируют локальные условия, однако фигурируют и те и другие. При развитых синоптических процессах, характеризующихся сильным ветром, облачностью и иногда осадками, влияние локальных условий в большей степени ограничено.

Статические и динамические элементы синоптических и локальных условий широко и по-разному взаимодействуют между собой и характеризуются большим количеством обратных связей. Некоторые из связей имеют односторонний характер, другие работают в обе стороны. На некоторые переменные влияют сразу несколько факторов [33, с. 103].

Локальное распределение температуры по вертикали и горизонтали влияет на структуру поля скорости ветра, которое в свою очередь определяет концентрацию загрязняющих веществ. Самая важная обратная связь между явлениями локального и несколько большего масштаба - это связь облачности и осадков. Из синоптических процессов наибольшее влияние на локальные явления оказывает поле скорости ветра.

Городские и окружающие их сельские регионы отличаются друг от друга также совершенно различной структурой поверхности почвы. Качественно это отличие заключается в том, что естественный или сельскохозяйственный ландшафт характеризуется наличием растительности и рыхлой пористой почвой. В противоположность этому почва в черте города весьма плотная и не имеет пористой структуры. Ясно, что теплофизические характеристики этих двух типов почв, такие, как теплоемкость и теплопроводность, различны. Например, в случае негустой растительности суточный ход температуры в солнечный день не ощущается уже на глубине 20-40 см. Для плотной мостовой соответствующая глубина составляет 80- 100 см.

Для годового хода можно привести такие цифры: 4-8 м под травянистой растительностью и 15-19 м под мостовой. В местности, где температура может опускаться ниже 0°C, расчет различий такого рода имеет важное значение, особенно при прокладке труб водопровода и канализации, поскольку почва под улицами и тротуарами промерзает на гораздо большую глубину, чем та, которая получается по расчетам хода температуры под обычной травянистой почвой.

Помимо научных, существует множество иных причин, определить различия между климатами городов и сельских местностей. Данные о климате города требуются для реализации многих инженерных проектов [20, с.188].

Как отмечалось ранее, влияние человеческой деятельности на окружающую среду проявляется в повышении температуры окружающего воздуха. Это особенно актуально для городских территорий и наиболее часто обсуждается в литературе. Поле температуры в городе характеризуется замкнутыми изолиниями, которые создают на карте структуру, получившую в литературе название городского острова тепла. Проблеме ГОТ посвящено значительное количество работ.

Городской остров тепла - повышение температуры воздуха внутри города по сравнению с температурой окружающей местности.

Явление острова тепла в поле приземной температуры воздуха присуще любым городам и даже любым населенным пунктам; чем больше поселок или



город, тем больше, как правило, разность температуры внутри него и в условиях фоновой местности за его пределами. Это явление впервые открыто выдающимся английским метеорологом - любителем Люком Говардом в 1820 году на примере сравнения температуры в Лондоне и в его окрестностях [16, с.89].

Совокупность тепловых аномалий, связанных с городскими территориями, формирует городской остров тепла, (в англоязычных источниках есть устоявшийся термин — urban heat island, УИ) — это явление, связанное с повышением температуры воздуха в пределах города по сравнению с окружающими его территориями [2, с.40] (рисунок 1.1).

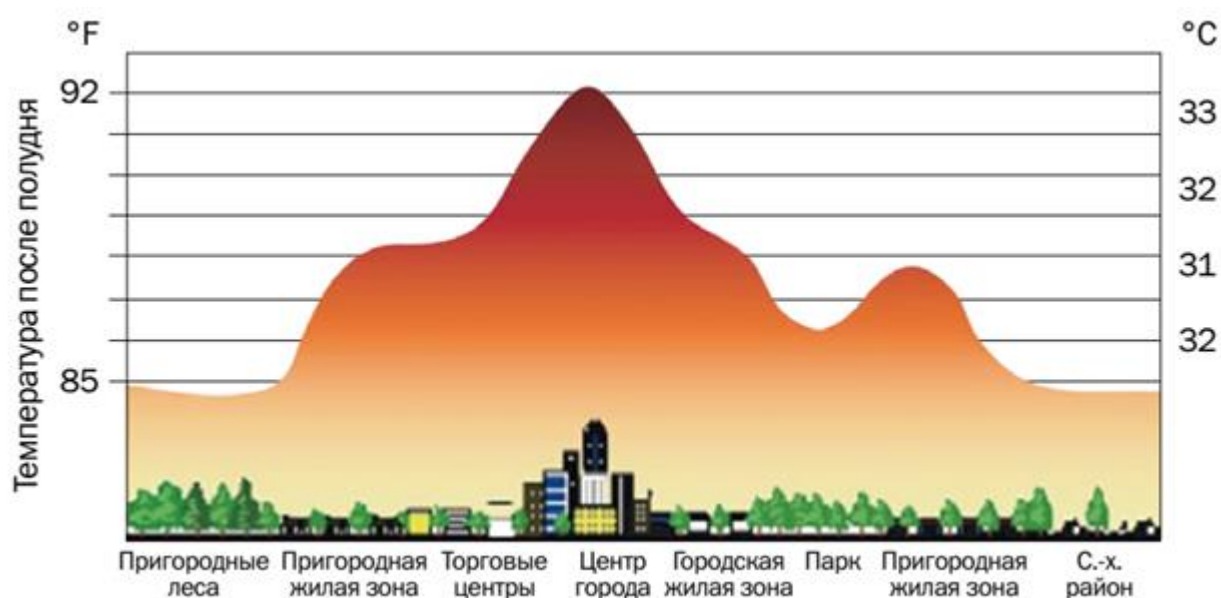


Рисунок 1.1 - Городской остров тепла: по вертикальной оси — температура воздуха

## 1.2 Причины образования

Остров тепла является отражением суммы микроклиматических изменений, связанных с антропогенными преобразованиями городской среды. Существует целый ряд факторов повышения температуры в городе:

- большая теплоемкость асфальтовых покрытий и стен каменных зданий;

- существенно меньшие затраты тепла на испарение осадков вследствие их искусственного стока и на транспирацию растений из-за ограниченных зеленых насаждений;

- прямое воздействие источников тепла вследствие человеческой деятельности (отопления зданий) и др.

Даже изолированный комплекс зданий создает микроклимат, отличный от того который был бы на этой местности в ее естественном состоянии.

Так же интенсивность городских островов тепла весьма сильно зависят от особенностей рельефа. В условиях сложного рельефа на развитие острова тепла влияют различные локальные циркуляции. Помимо этого, заметное влияние оказывают крупные реки, протекающие по территории городов.

Естественные условия еще более искажаются в условиях города из-за малого испарения. Солнечная энергия за городом расходуется утром на испарение росы, гуттацию растений и др., в городе непосредственно поглощается зданиями. Эвапотранспирация в городе резко уменьшена, так как растительный покров незначителен. Быстрое удаление осадков делает невозможным создание запасов влаги в почве и, следовательно, испарение с нее. Тем самым увеличивается восходящий поток явного тепла в структуре радиационного баланса земли под техногенной инфраструктурой [19, с. 66].

Обычно наибольшая интенсивность острова тепла в суточном ходе наблюдается в первой половине ночи, наименьшая — в середине дня [18, с.43].

В случае, когда условия благоприятствуют развитию острова тепла, максимальные различия температуры обычно отмечаются через 2-3 часа после заката и исчезают в небольших городах после полуночи. В больших городах остров тепла сохраняется вплоть до восхода солнца, что увеличивает минимальную температуру в утренние часы.

Самым убедительным доказательством существования в городе острова тепла является сравнение двух рядов температуры, из которых один включает данные, полученные на территории будущего города до его основания, а другой состоит из измеренных значений температуры уже в построенном городе [13,

с.235]. Практически провести такое сравнение удастся очень редко, но требуемое доказательство можно получить иначе, а именно путем составления тренда температуры воздуха в растущем городе и общего климатического тренда в более широком регионе. Если для какого-либо города первый из указанных трендов превышает второй, то можно с уверенностью говорить о существовании в этом городе острова тепла [12, с.7].

Заметим так же, что рост площади города и уплотнение городской застройки ведут к усилению эффекта городского острова тепла со временем. В том числе, остров тепла быстро развивается в наиболее населенных городах. Конечно, численность населения не является физической величиной, но она поддается простой оценке в отличие от других параметров, таких как площадь, степень изменения условий на поверхности или количество производимого тепла. Это создает определенные сложности при интерпретации текущих изменений климата по данным городских станций.

Исследователи отмечают, что на увеличение температуры в городе оказывают действие несколько факторов (рисунок 1.2) [14, с. 163]:

1. Прямые выбросы тепла, образующиеся при сжигании всех видов топлива и расходовании электроэнергии;
2. Уменьшение альбедо городской подстилающей поверхности;
3. Изменение теплофизических свойств городской подстилающей поверхности;
4. Поглощение солнечной радиации водяным паром, образующимся при сжигании всех видов топлива.
5. Поглощение солнечной радиации малыми газовыми и аэрозольными примесями;
6. Отсутствие затрат на испарение воды в городе.

Эти факторы влияют на микроклимат города в одно и тоже время, но их вклад в разное время года и в различных климатических условиях различен. Они вызывают изменение естественного радиационного баланса, условий теплообмена, нарушение естественного круговорота воды. Все это определяет

микроклиматическую изменчивость общеклиматических режимов в отдельных районах крупного города. Интенсивность острова тепла строго коррелирует с плотностью жителей, в основном потому, что человеческая деятельность потребляет энергию, которая затем выделяется в виде тепла в атмосферу. Темные поверхности сохраняют энергию из-за низкого альбедо, повышая температуру здания и увеличивая потребность в охлаждении. Вечером то же тепло выделяется в воздух.

## Факторы, влияющие на образование островов тепла



Рисунок 1.2 - Факторы, влияющие на образования островов тепла

Однако относительный вклад каждого из этих факторов в образование городского острова тепла в настоящее время однозначно не определен.

В эту эпоху, которая началась во время 1980-х годов, учёные пытались описать реальные причины эффекта городского острова тепла, и проанализировать факторы, влияющие на городской климат. Основываясь на исследовании Оке [5], мы можем определить семь причин, как наиболее значимых факторов, влияющих на городской микроклимат (рисунок 1.3) [20,

с.25].

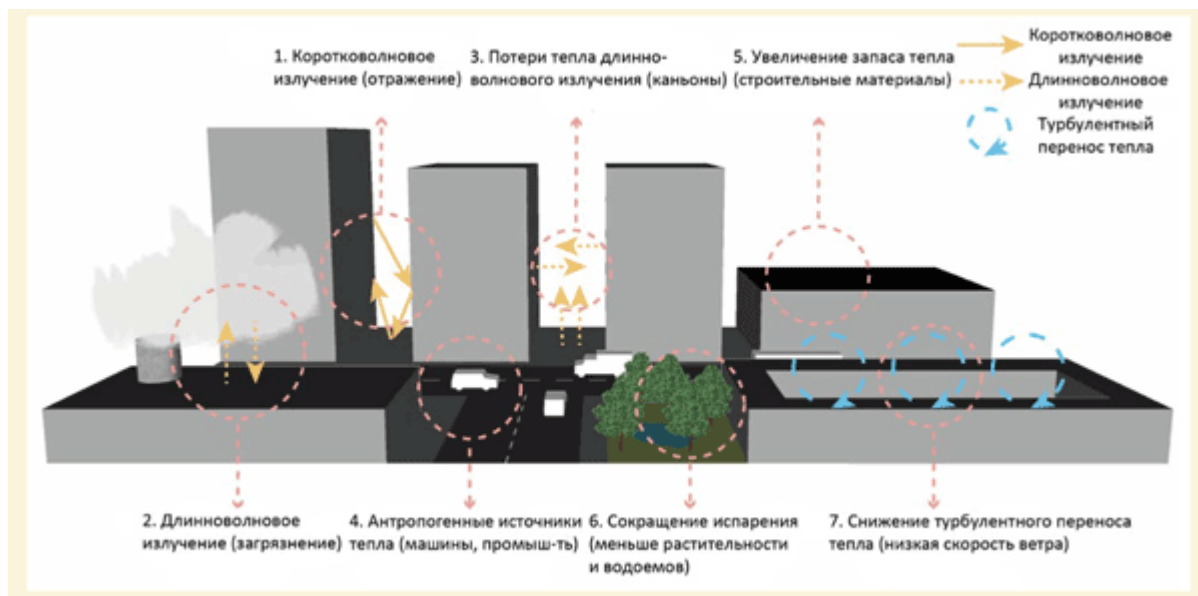


Рисунок 1.3 - Семь причин городского острова тепла (факторы, влияющие на любой городской микроклимат)

После того, как нами определены факторы, влияющие на городской микроклимат, мы можем предложить меры, которые могут его улучшить. Есть различные примеры, которые можно рассматривать в качестве мер адаптации, к примеру, увеличение растительности, устройство водоёмов, вентиляционных отверстий и другое. Вообще, все эти предлагаемые меры по адаптации стараются повлиять на один из семи факторов, влияющих на городской микроклимат [34].

Одной из таких мер адаптации может быть улучшение ориентации улиц зданий в пределах городской территории. Голани [6] показывает, что уличная система, которая состоит из улиц-блоков, препятствует увеличению скорости ветра и сохраняет большее количество тепла в пределах городской территории (что усиливает эффект острова тепла), тогда как улицы, параллельные друг другу, позволяют усиливать скорость ветра, что приводит к уменьшению эффекта острова тепла (рисунок 1.4).

Эта методика рассматривает один из факторов, влияющих на городской микроклимат (турбулентный перенос тепла) и предлагает такое архитектурное решение, которое способно изменить климат в соответствии с потребностями

какого-либо конкретного населённого пункта [40, с.30].

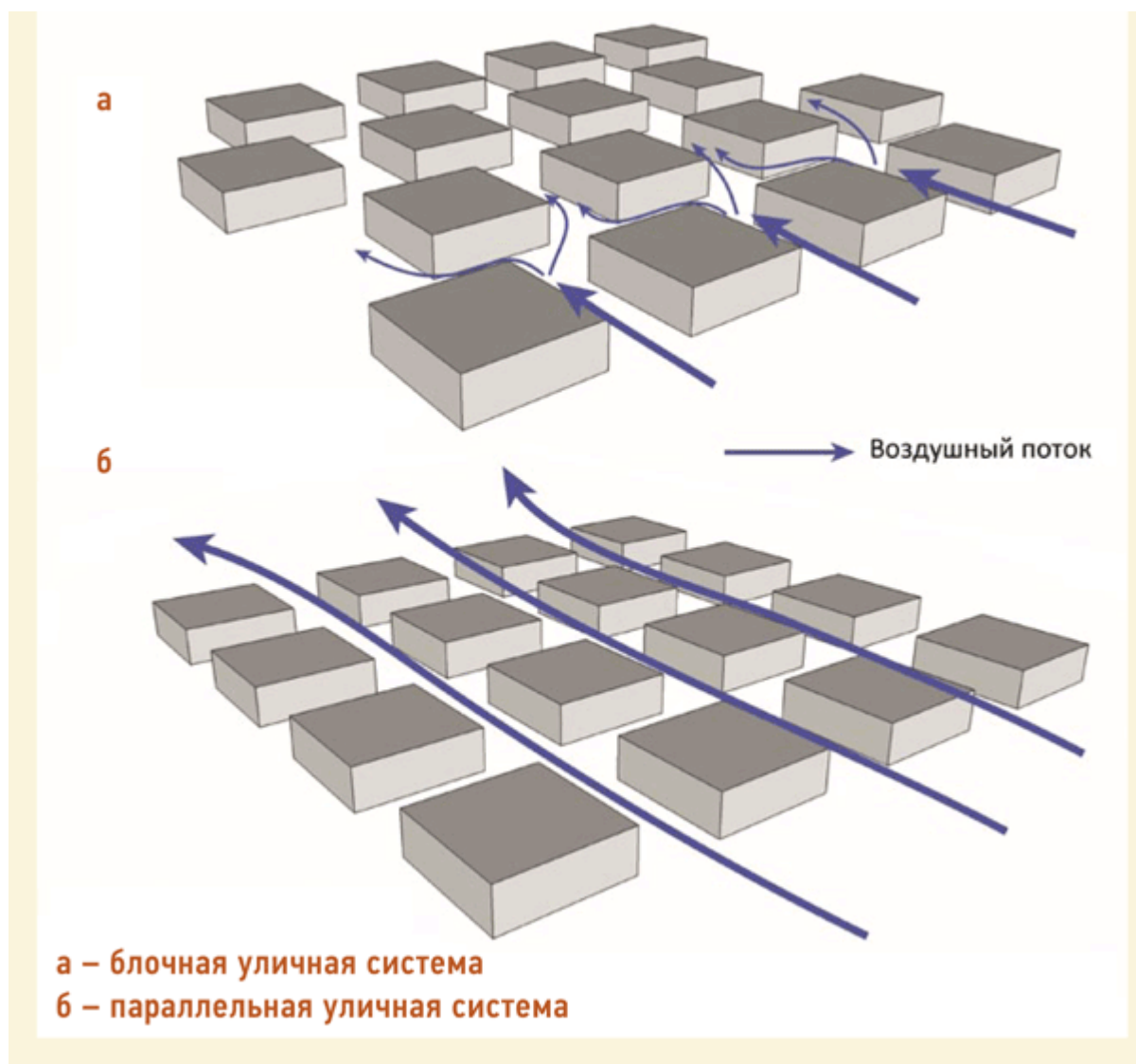


Рисунок 1.4 - Влияние ориентации улиц на поток воздуха

Большинство исследователей приходят к выводу, что линейные размеры, а также интенсивность городского острова тепла зависят не только от индустриальной и хозяйственной активности населения, но также и от особенностей рельефа, наличия крупных рек, протекающих по городским территориям, озер и зеленых насаждений. Gough W.A. с соавторами описали влияние бриза озера Онтарио на городской остров тепла в г. Торонто, Канада. Показано, что днем бризы понижали температуру воздуха в городе на  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Остров тепла является отражением суммы микроклиматических

изменений, связанных с антропогенными преобразованиями городской поверхности. Даже изолированный комплекс зданий создает микроклимат, отличный от того, который был бы на этой местности в ее естественном состоянии. Заасфальтированные поверхности и стены зданий в светлое время суток запасают некоторое количество тепла, а ночью отдают его окружающему воздуху. Естественные процессы еще более искажаются в условиях города из-за малого испарения. Солнечная энергия, расходуемая в сельской местности утром на испарение росы, гуттацию растений и др., в городе непосредственно поглощается зданиями. Эвапотранспирация в городе также резко уменьшена, так как растительный покров незначителен. Быстрое удаление осадков делает невозможным создание запасов влаги в почве и испарение с нее.

Температурные контрасты ярче всего проявляются в вечерние часы, непосредственно перед закатом и после него. В это время образуется роса, и высвобождающееся тепло конденсации на некоторое время повышает температуру. В случае, когда условия благоприятствуют развитию острова тепла, максимальные различия температуры обычно отмечаются через 2-3 часа после заката и исчезают в небольших городах вскоре после полуночи. В больших городах остров тепла сохраняется вплоть до восхода солнца, что увеличивает минимальную температуру в утренние часы. К середине дня разница температур между городом и сельской местностью становится минимальной.

Самым убедительным доказательством существования в городе острова тепла является сравнение двух рядов температуры, из которых один включает данные, полученные на территории будущего города до его основания, а другой состоит из измеренных значений температуры в уже построенном городе. Однако, практически провести такое сравнение удастся очень редко, и требуемое доказательство можно получить путем сопоставления тренда температуры воздуха в растущем городе и общего климатического тренда в более широком регионе. Если для какого-либо города первый из указанных трендов превышает второй, то можно говорить о существовании в этом городе острова тепла.

Имеется большое количество случаев, в которых наблюдалась данная

ситуация. Например, рост температуры в Токио с 1920 г. превышает региональный тренд. Фукуи [39, с.50] провел сравнительный анализ изменений температуры в трех быстрорастущих и в трех маленьких городах, не испытывавших заметного влияния урбанизации. Тренд температуры, вычисленный по данным 30-летних наблюдений, в первых трех городах составил  $0,03$  °C/год, для вторых трех городов это значение было всего лишь  $0,01$  °C/год.

Большое внимание уделяется ночным островам тепла и в особенности максимальной разности между температурами в городе и его окрестностях. Имеется большое количество данных, характеризующих на разных континентах городские территории, различающиеся как по размерам, так и по рельефу.

Острова тепла в городах подвержены быстрой эволюции. В Колумбии в 1968 г., когда в городе насчитывалось около 1000 жителей, максимальная разность температур для жилой части города составляла  $1$  °C. После начала строительства делового центра разность температур достигла  $3$  °C. К 1974 г., когда число жителей увеличилось до 20 тысяч, интенсивность острова тепла усилилась, и разность температур стала равняться  $7$  °C.

Известно большое количество попыток связать интенсивность острова тепла с размерами города. Еще в 1953 г. Митчелл заметил, что значительную долю дисперсии увеличения температуры в городах можно объяснить, представив ее в виде функции роста населения. Остров тепла наиболее быстро развивается в самых быстро растущих городах. В качестве наиболее репрезентативного фактора, учитывающего влияние размера города на изменение температуры, Митчелл предложил использовать значение квадратного корня из численности населения города [41, с.133]. В выборке из 77 городов Америки ему удалось показать наличие соответствующего тренда ( $r=0.86$ ).

Численность населения не является физической величиной, но она поддается простой оценке в отличие от других параметров, таких, как площадь, степень изменения условий на поверхности или количество производимого тепла, которые не могут быть оценены так же однозначно.



В условиях сложного рельефа на развитие островов тепла влияют различные локальные циркуляции. Помимо этого, заметное влияние оказывают крупные реки, протекающие по городским территориям.

Приповерхностные аномалии температуры на территории города неизбежно проявляются и на более высоких уровнях. Этот эффект прослеживается главным образом ночью. Наличие температурных аномалий на значительной высоте над поверхностью особенно отчетливо было продемонстрировано в эксперименте Дакворта и Сэндберга [38, с.116] в районе бухты Сан-Франциско. При этом исследовании было проведено 32 параллельных подъема аэростатов как над городскими, так и над близлежащими сельскими районами. В 30 из 32 случаев над сельской местностью была обнаружена температурная инверсия радиационного происхождения. В тоже время над городом вплоть до высоты 100 м наблюдались почти изотермические условия. Также в сельской местности была замечена более высокая, чем в городе, температура воздуха над невысокой приподнятой инверсией. Это явление было названо кроссовер- эффектом.

Хотя результаты ночных подъемов аэростатов внутри городской черты и вне ее свидетельствуют о том, что вертикальные структуры температурных полей в обоих случаях схожи, сильная устойчивость над сельской местностью и относительная неустойчивость над городом более всего заметны в условиях плоской равнинной местности. В случаях, когда рельеф местности сложный, возникают топоклиматические различия, проявляющиеся в стоке холодного воздуха во впадины ландшафта. Над слегка волнистой поверхностью остров тепла может сохраняться, однако вертикальная структура температурного поля в таких условиях оказывается весьма сложной [28, с.200].

Ночная инверсия температуры над городом в более высоких слоях образуется за счет действия нескольких механизмов. Они же ответственны за тот факт, что временами на одной и той же высоте в сельской местности бывает теплее, чем в городе. В сельской местности из-за интенсивной приповерхностной инверсии могут возникать нисходящие воздушные потоки, которые приводят к

определенному адиабатическому нагреванию воздуха, находящегося над слоем инверсии. С другой стороны, в городе имеется загрязненный слой воздуха, несколько приподнятый над поверхностью из-за атмосферной неустойчивости в нижних слоях. Этот загрязненный слой может служить причиной тепловых потерь за счет потока уходящей длинноволновой радиации и, следовательно, вызывать некоторое понижение температуры по сравнению с ее значениями на тех же высотах в более чистом воздухе сельской местности. В то же время результаты модельных экспериментов [36, с.1065] показывают, что в формировании вертикальной структуры температурного поля изменения, вносимые взаимодействием загрязняющих веществ с радиацией, играют второстепенную роль.

В солнечные дни вертикальные градиенты температуры в городах быстро увеличиваются, особенно в теплом сезоне. Измерения с вертолета в районе Цинциннати показали, что летом даже до полудня градиенты температуры были в нижнем 100-метровом слое - близкими к изотермии. Зимой большие вертикальные градиенты температуры развиваются медленнее, поэтому условия изотермии или инверсии на относительно небольших высотах могут существовать в течение всего дня.

### 1.3 Влияние городского острова тепла

На сегодняшний день было выделено 3 типа городских островов тепла по методу наблюдения или определение поверхности (рисунок 1.5):

Виды островов тепла		
	Зона формирования	Методы измерения
Пограничные острова тепла (BLUHI)	Формирует тепловой «Шлейф» над городом	Датчики на высоких зданиях Шары и профили температуры
Навесной слой (CLUHI)	Формируется ниже линии крыш, включает антропогенное тепло	Сеть датчиков на разных уровнях
Наземные острова тепла (SUNI)	Формируется в наземном слое	Тепловые спутниковые данные

Рисунок 1.5 - Основные виды островов тепла на урбанизированных территориях [35, с. 89]

Пограничные острова тепла (BLUHI) полностью зависят от погоды, они выглядят как «шлейф» над городом, ориентированные по характеру ветра и находятся под его влиянием. В «шлейф» также входит тепло от крыш, вентиляционных отверстий и дымоходов. Существует всего девять обычных методов измерения этого типа городского острова тепла. Наиболее распространенный метод измерения - датчики температуры, установленные на самых высоких зданиях в городских и сельских районах. Второй метод - привязные шары и профили температуры, однако их функционал ограничен из-за авиации, штормов и ветров (рисунок 1.6).

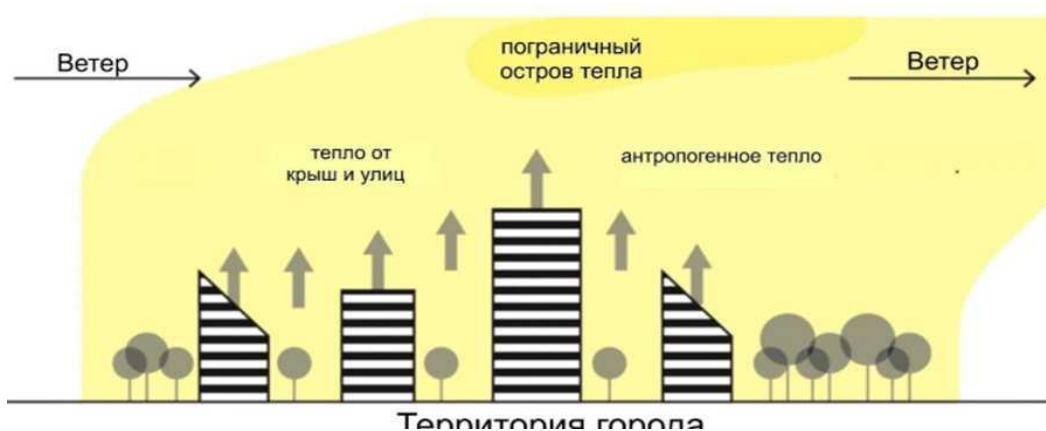


Рисунок 1.6 - Схема размещения пограничных островов тепла (BLUHI) над территорией города

Навесной слой (CLUHI) формируется под линией, проходящую через верхнюю часть каждого здания в городе, особенно через многоэтажки. Он образуется в результате поглощения солнечного излучения от поверхностей с низкой отражательной способностью и изолированных поверхностей, которые приводят к высокой дневной температуре. В этот вид также включают антропогенное тепло, влажность и загрязняющие вещества, но там практически отсутствует влияние местных ветров и турбулентности. CLUHI измеряется с помощью сети датчиков на стандартном или экранном уровне (примерно 1-1,5 м). В общем в навесном слое остров тепла регистрирует свой максимум ночью при этом может быть небольшим или даже ниже нуля в течении дня (рисунок 1.7).

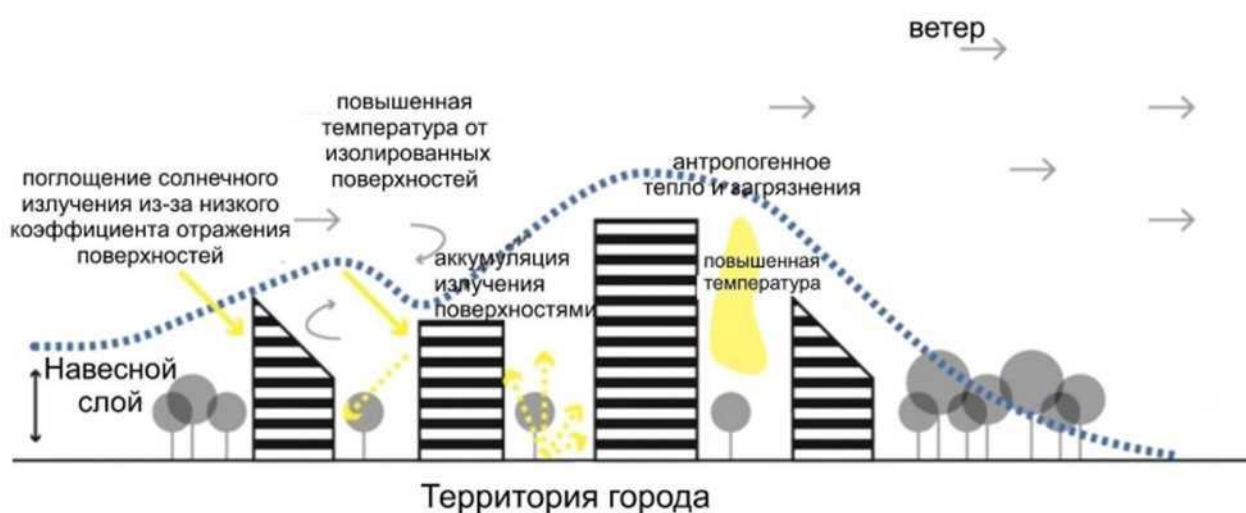


Рисунок 1.7 - Схема размещения навесного слоя теплового острова (CLUHI) над урбанизированной территорией

Температура поверхности строго связана с энергетическим балансом, который определяется ее свойствами:

- влияние и ориентация солнца, ветра и неба;
- способность излучать и отражать солнечные и инфракрасные волны;
- влажность поверхности и ее способность испаряться;
- относительная шероховатость поверхности;

- проводимость и распространение тепла.

Измерение наземных островов тепла (SUHI) выполняется с помощью космических снимков или аэрофотосъемки. Однако он имеет явные погодные ограничения, а также ряд атмосферных и поверхностных эффектов, которые требуют коррекции. Наиболее распространенным методом оценки городских островов тепла является использование тепловых инфракрасных спутниковых данных, которые не всегда передают точную информацию, поскольку данные собираются в дневное время. Кроме того, спутник измеряет температуру уровня яркости крыши, не привязываясь к температуре воздуха (рисунок 1.8).

Тепловое загрязнение является одним из самых масштабных и самых распространенных видов физических загрязнений, созданных человеком. По данным ИЕА, ежегодное мировое производство энергии от сжигания ископаемого топлива составляет около  $5,86 \times 10^{11}$  ГДж. Не менее четверти этого количества возвращается в окружающую среду тепловыми потоками. И хотя в планетарном масштабе это пока составляет менее 0,1% от суммарного поступления энергии от Солнца, локально тепловое загрязнение приобретает критических значений.

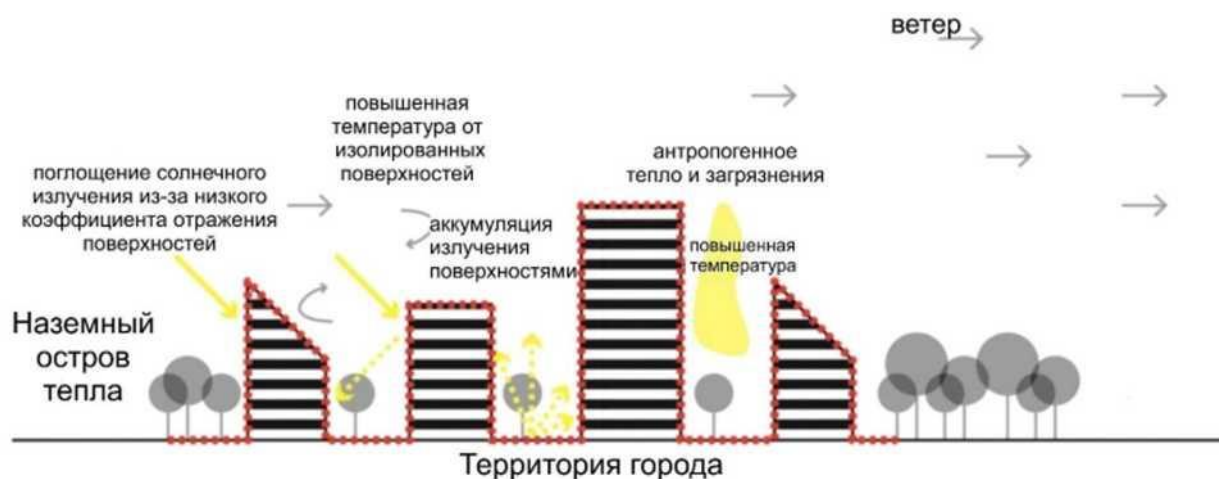


Рисунок 1.8 - Схема размещения наземного острова тепла (SUHI) над городской территорией

Кроме непосредственного воздействия на физические характеристики воздуха, тепловое загрязнение способствует также увеличению химического загрязнения. После повышения температуры воздуха до  $+ 22,5^{\circ}\text{C}$ , вероятность

возникновения смога растет почти на 2% на каждый дополнительный градус. Кроме того, большая температура воздуха в городах требует генерации дополнительной электроэнергии, что, в свою очередь, также провоцирует большее загрязнение атмосферы.

Как уже упоминалось, в отдельных мегаполисах антропогенный тепловой поток может даже превышать показатель суммарной солнечной радиации. При этом тепловое воздействие может распространяться на десятки километров.

Например, зона влияния ТЭЦ может достигать от 131 тыс. До 11 млн. га, а высота теплового воздействия - 230-250 м. Но и города без собственных энергогенерирующих мощностей также формируют свои «острова тепла». Остановимся подробнее именно на тепловом загрязнении урбанизированных селитебных территорий.

Изменения температурных показателей в городах, проявляются в виде волн тепла (во временном масштабе) и островов тепла (в пространственном масштабе). Согласно определению Всемирной метеорологической организации WMO, волна тепла — это период, в течение которого максимальная суточная температура воздуха более 5 дней подряд превышает среднюю максимальную температуру воздуха в этот день за многолетний период на 5°C.

Прямое тепловое загрязнение городских территорий связано с непосредственным поступлением тепловой энергии вследствие выбросов автотранспорта, промышленных предприятий, котельных, подогретыми сбросами сточных вод, истоками на теплотрассах и тому подобное. Для пригородных зон частной застройки также характерны, рассредоточены выбросы от индивидуальных отопительных установок.

Косвенное тепловое загрязнение связано с антропогенными трансформациями радиационного, теплового режима и процессов испарения воды в пределах городской территории. Город — это, прежде всего, зона активного преобразования человеком деятельной поверхности, которая, как известно, является одним из климатообразующих факторов, вместе с солнечной радиацией и атмосферной циркуляцией. В городах значительные площади

занимают, заасфальтированы дороги и площадки, забетонированы участки, здания, в том числе высотные, поверхность стен и крыш которых многократно увеличивает даже самую площадь деятельного слоя. Большинство искусственных поверхностей (бетон, камень, асфальт, пластик и т.д.) днем активно поглощают и накапливают тепло, от них нагревается и приземный слой воздуха.

#### 1.4 Спутниковое изучение острова тепла

Важнейшими компонентами системы наблюдений за климатическими изменениями в составе ГНС являются наземная метеорологическая, аэрологическая, гидрологическая, морская гидрометеорологическая наблюдательные сети, сети мониторинга химического состава и отдельных характеристик атмосферы в рамках Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО Росгидромет в настоящее время эксплуатирует отечественную группировку спутников метеорологического назначения, спутников мониторинга окружающей среды и спутников связи. Метеорологические спутники включены в состав Интегрированной глобальной системы наблюдений ВМО (WMO Integrated Global Observing System, WIGOS) [8, с.66].

Для наблюдения за островами тепла и их поведением, исследователи обычно пользуются двумя способами: измеряют температуры воздуха и поверхности. С помощью данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ), в частности, съемки в тепловом инфракрасном диапазоне появляется возможность оценить внутреннюю пространственную структуру городских островов тепла и проследить динамику во времени и пространстве локальных тепловых аномалий.

Эффективность СВЧ-радиометрического метода исследования атмосферы Земли (и, в особенности - нижней тропосферы) обусловлена сочетанием высокой прозрачности атмосферы в широких диапазонах микроволнового спектра и линий селективного радиотеплового излучения (и поглощения) некоторых ее

газовых компонент, в первую очередь - кислорода и водяного пара. Особенности спектра собственного микроволнового излучения атмосферы определяются как процессами генерации излучения во всех ее слоях, так и ослаблением (поглощением и рассеянием) излучения на всем пути его распространения.

Программа DMSP остается уникальной космической миссией, обеспечивающей получение глобальной, регулярной, долговременной, однородной по качеству информации спутникового радиотеплового мониторинга Земли. На основе измерений SSM/I и SSMIS радиотепловых полей системы океан- атмосфера сформирован и ведется ряд специализированных электронных архивов, как за рубежом, так и в России. Компания RSS осуществляет долгосрочный проект по ведению и оперативному пополнению электронного архива продуктов обработки данных спутникового радиотеплового мониторинга. Этот архив содержит, среди прочего, глобальные поля интегрального влагосодержания атмосферы, полного водозапаса облаков и других геофизических параметров, рассчитываемых на регулярной географической сетке с шагом  $0,25^\circ$ . Информация архива охватывает интервал непрерывных радиотепловых спутниковых наблюдений с июля 1987 года и на текущий момент открыта для использования в научных целях без каких-либо ограничений. Качество информации получило широкое признание мирового научного сообщества, и продукты RSS востребованы при решении большого круга задач метеорологии и климатологии.

Безусловно, ориентированность на данные уникальной космической миссии представляет источник уязвимости для любой долгосрочной исследовательской программы. Так, в феврале 2016 года был утрачен спутник DMSP F19 (запущенный последним в серии в 2014 году) из-за проблем с блоком управления и контроля. Запуск следующего спутника, ранее намеченный на 2020 год, вероятно, не состоится до 2023 года из-за проблем с финансированием [37]. В настоящее время получение достаточно полной оперативной информации осуществляется благодаря ранее запущенным спутникам F16, F17, F18, чье время функционирования на орбите уже существенно превысило гарантийный



пятилетний срок.

Quantum GIS - свободная кроссплатформенная геоинформационная система. Данная ГИС является одной из самых простых в освоении: интерфейс намного понятнее для неискушенного пользователя, а в некоторых аспектах даже превосходит широко распространенные ГИС. Весомым достоинством является поддержка сторонних модулей, которые могут значительно расширить функционал программы, не требуя при этом навыков программирования - всё необходимое загружается из репозитория и не требует дополнительных вмешательств в процесс установки. Однако для опытных пользователей QGIS может быть адаптирован к особым потребностям с помощью расширяемой архитектуры модулей. QGIS предоставляет библиотеки, которые могут использоваться для создания модулей. Можно создавать отдельные приложения, используя языки программирования C++ или Python.

В QGIS можно создавать и редактировать векторные данные, а также экспортировать их в разные форматы.

Так же в QGIS существует множество инструментов для выполнения сетевого и геоинформационного анализа: оверлейные операции, построение буферных зон, нахождение кратчайших путей, нахождение областей доступности и другое [23].

Основная работа выполнялась в плагине Semi-Automatic Classification (SCP). Плагин является открытым для QGIS, и позволяет выполнять полуавтоматическую классификацию (также контролируемую классификацию) изображений дистанционного зондирования. Кроме того, он предоставляет несколько инструментов для предварительной обработки изображений, обработки классификаций и калькулятор растра.

SCP позволяет быстрое создание трансформирование полигонов, которые хранятся в шейп-файлах. Спектральные сигнатуры тренировочных площадей рассчитываются автоматически, и могут быть отображены в спектральной подписи участка наряду с их значениями. Кроме того, инструмент позволяет выбрать и загрузить спектральных сигнатур от USGS спектральной библиотеки.

SCP реализует инструмент для поиска и загрузки Landsat снимков. Следующие инструменты доступны для предварительной обработки изображений: автоматическое преобразование Landsat на отражательную способность поверхности, отсечение нескольких растров и расщепление растра на множество диапазонов.

Алгоритмы классификации доступны: Минимальное расстояние, максимального правдоподобия. Спектральный Угол Mapping. SCP позволяет осуществлять интерактивный предварительный просмотр классификации.

Инструменты постобработки включают в себя: оценку точности, изменение растительного покрова, доклад классификации, классификации к вектору, реклассификации растровых значений.

## 2 Физико-географические и климатические описания города Санкт-Петербурга и Ленинградской области

### 2.1 Физико-географическое описание Санкт-Петербурга

Санкт-Петербург - город федерального значения Российской Федерации, субъект Российской Федерации, административный центр Северо-Западного федерального округа, место нахождения высших органов власти. Ленинградской области. В XVIII—XX веках - столица Российской империи.

Город Санкт - Петербург (без учёта пригородов) расположен между  $60^{\circ} 05'$  (Промзона Парнас) и  $59^{\circ} 48'$  северной широты (Авиагородок). Координаты центра —  $59^{\circ}57'$  с. ш.  $30^{\circ} 19'$  в. д. (рисунок 2.1).

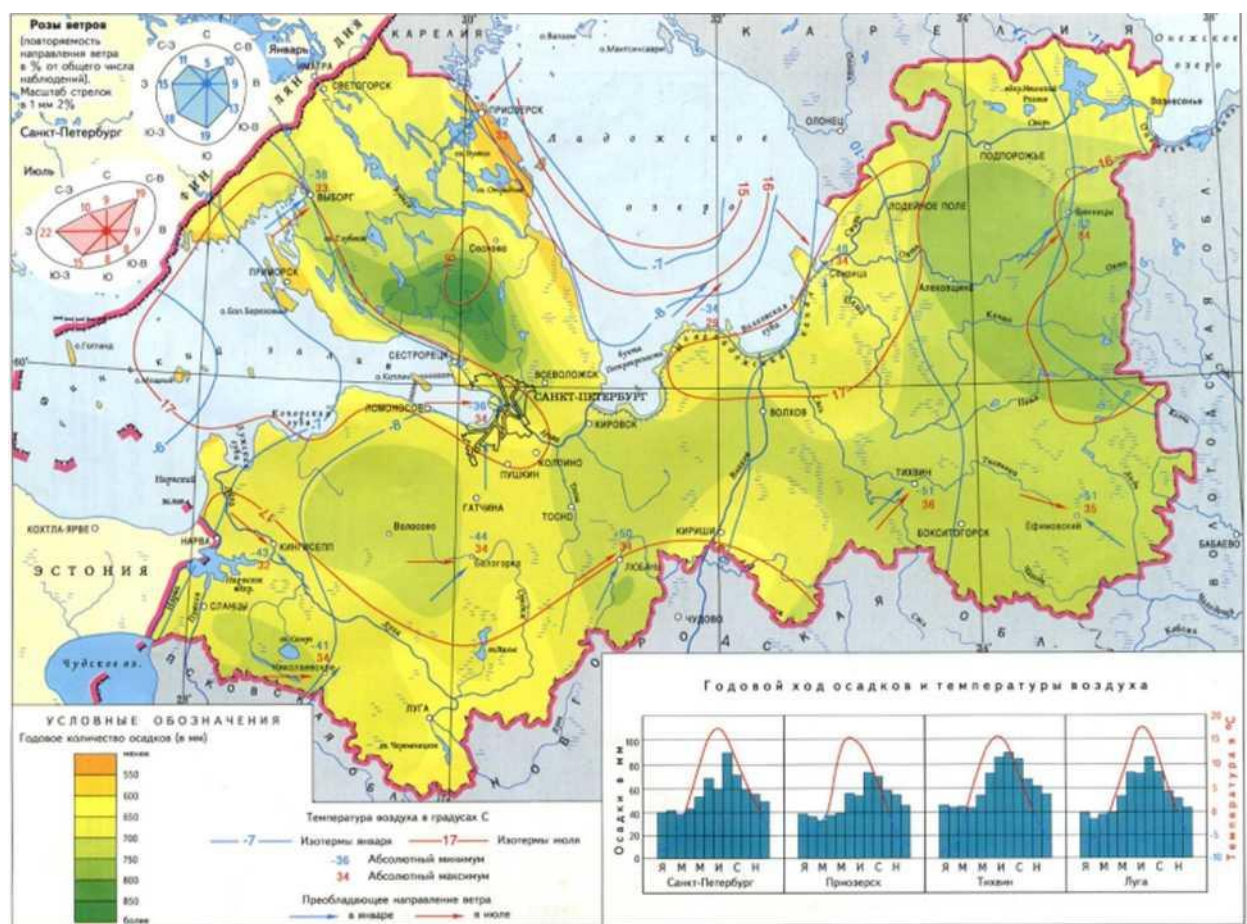


Рисунок 2.1 – Климатическая карта Ленинградской области

Город расположен на северо-западе Российской Федерации, в пределах Приневской низменности, на прилегающем к устью реки Невы побережье

Невской губы Финского залива и на многочисленных островах Невской дельты (рисунок 2.2).

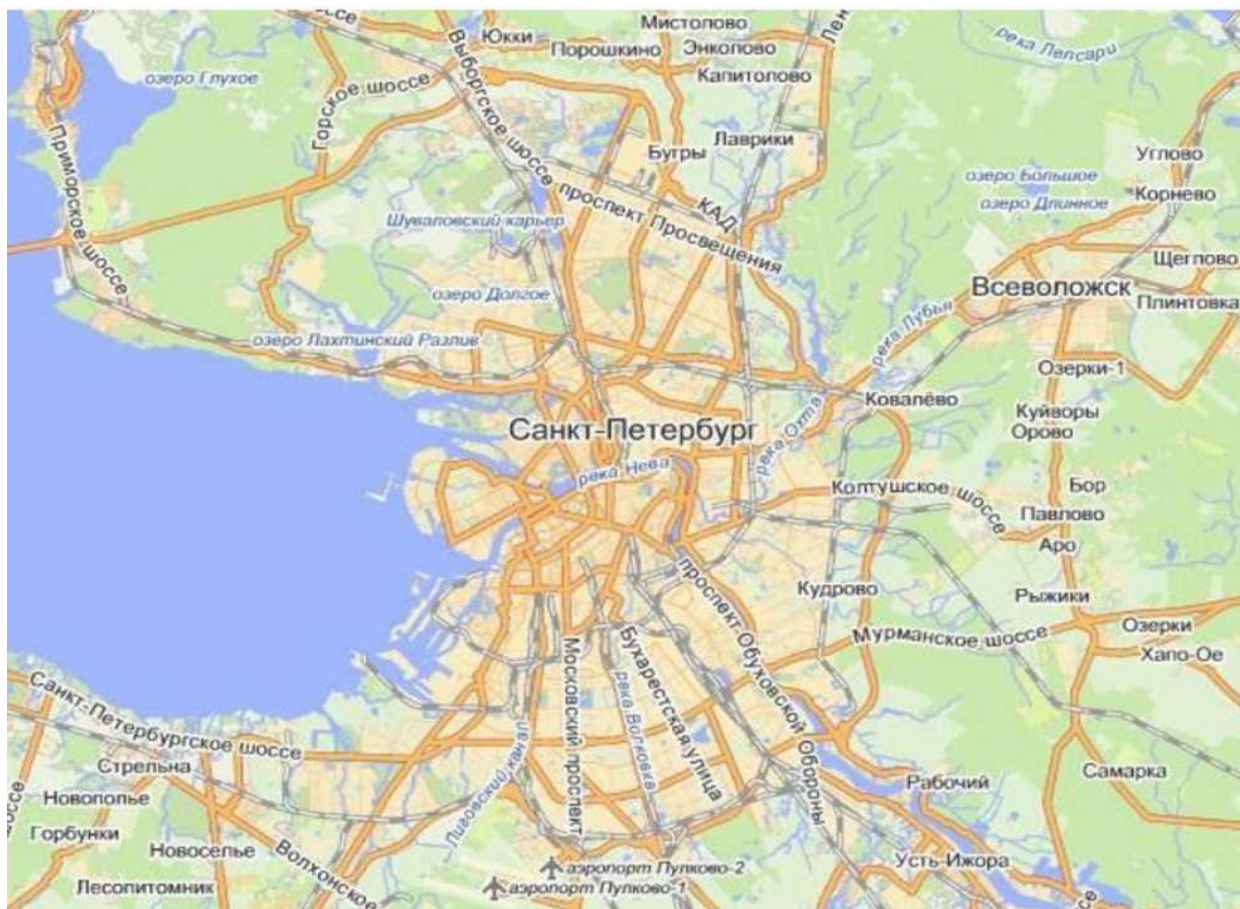


Рисунок 2.2 - Карта г. Санкт-Петербург [22]

Что касается геологического строения и рельефа, территория расположена в пределах Приневской низменности, на прилегающем к устью реки Невы побережье Невской губы Финского залива и на многочисленных островах Невской дельты. Таким образом, почти вся территория города находится на низкой плоской равнине, изобилующей древними морскими террасами.

Высота города над уровнем моря: для центральных районов - 1 - 5 м, периферийных районов (север) - 5 - 30 м, периферийных районов (юг и юго-запад) - 5 - 22 м.

Самое высокое место в черте города - район Красного Села (70 - 110 м) с Вороньей горой (176 м).

Современный рельеф города Санкт Петербург и Ленинградской области

схематично отображён на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 - Схема рельефа г. Санкт Петербург и Ленинградской области [22]

Высокоширотным положением города объясняется явление белых ночей. В период, близкий ко дню летнего солнцестояния, Солнце в полночь опускается ниже горизонта всего на  $7^\circ$ , поэтому вечерняя заря практически сходится с утренней, и всю ночь делятся гражданские сумерки. Определение белых ночей условно. Считается, что в Петербурге они продолжаются с 11 июня по 2 июля, период очень светлых ночей длится с конца мая до середины июля.

Площадь территории города — 1,4 тысячи км<sup>2</sup>. Из них территория высокоплотной, почти сплошной застройки составляет 650 км<sup>2</sup>.

Санкт - Петербург, расположенный на берегу Финского залива Балтийского моря, является европейскими воротами России, ее стратегическим центром, непосредственно граничащим со странами Европейского Союза.

Геологическое строение территории Санкт - Петербурга обусловлено положением на стыке Балтийского кристаллического щита и Русской плиты.

На всей территории развита мощная толща (до 1200 - 1300 м) верхнепротерозойских и палеозойских осадочных пород, образующая осадочный чехол Русской плиты (рисунке 2.4). Они залегают наклонно, со

слабым падением под углом 10 - 20° к юго-востоку и образуют северо-западное крыло гигантской пологой вогнутой складки - Московской синеклизы (впадины).



Рисунок 2.4 - Геологическая карта территории Санкт-Петербурга [25, с. 114]

Санкт-Петербург и его окрестности относятся к южной подзоне тайги. В

естественных условиях здесь господствовали хвойные лесные сообщества, перемежающиеся болотами, по большей части верховыми, а также переходными заболоченными участками. В результате антропогенеза, территория была полностью преобразована в ландшафт городского типа. В настоящее время в черте города присутствуют сильно преобразованные остатки естественной растительности, сохранившиеся в некоторых парках, а также искусственные зеленые насаждения, занимающие вместе с водной поверхностью около 40 % городской территории [3, с.106].

Территория относится к водосбору Невской губы Финского залива. Невская губа является составной частью системы Онежское озеро - река Свирь - Ладожское озеро - река Нева - Невская губа - восточная часть Финского залива. Примыкают к территории следующие водные объекты: Невская губа Финского залива, Большая Нева, Малая Нева, река Смоленка, Малая Невка, Шкиперский канал, Галерная гавань.

Характеристика водных объектов согласно данным по водным объектам Василеостровского района из выписки из Водного реестра от 28 марта 2011 г.:

Невская губа Финского залива - восточная часть Финского залива Балтийского моря. Губа ограничена с востока дельтой Невы и с запада створом комплекса защитных сооружений. Площадь зеркала воды составляет 381 млн. 547 тыс. 0,88 м<sup>2</sup>, длина - 30 км 100 м, ширина - 13 км 500 м, объем - 1000 м<sup>3</sup>. Средняя глубина Невской губы составляет 3-5 м.

Река Нева - река, соединяющая Ладожское озеро с Невской губой Финского залива Балтийского моря. Длина 74 км, площадь собственного бассейна 5 тысяч км<sup>2</sup>. Расход воды 2500 м<sup>3</sup>/с. Нева - это единственная река, вытекающая из Ладожского озера. Судоходна на всем протяжении, является частью Волго-Балтийского пути и Беломорско-Балтийского канала. Последние 2,5 тысячи лет рельеф почти не менялся.

Большая Нева - крупнейший левый рукав дельты Невы. Длина около 3,62 км, ширина от 200 до 400 метров. Глубина от 8,2 до 12,8 метров. Расход воды у Стрелки Васильевского острова 1520 м<sup>3</sup>/сек. (60% общего стока Невы).

Малая Нева - второй по величине рукав дельты Невы после Большой Невы. Отходит от неё у Стрелки Васильевского острова. Впадает в Невскую губу вместе с Малой Невкой между Петровским и Крестовским островами. Длина составляет около 4,50 км, ширина - от 200 до 375 м, глубина от 3 до 7 метров, средний расход воды (у Тучкого моста) 475 м<sup>3</sup> /сек., средняя скорость течения 0,4 - 0,6 м/с. Имеет рукава р. Смоленка и р. Ждановка.

Река Смоленка - река берёт начало в Малой Неве и впадает в Финский залив. При впадении в Финский залив создан искусственный остров. Река разделяет Васильевский остров и остров Декабристов. Длина составляет приблизительно 3,7 км. Русло реки достаточно извилистое.

Малая Невка - рукав дельты Невы, отходящий от Большой Невки у Стрелки Каменного острова. Впадает в Невскую губу единым устьем с Малой Невой, между островами Петровским и Крестовским. Длина 5 км, ширина 120-250 м, глубина 3,6-6,5 м. Средний расход воды в истоке 224 м<sup>3</sup> /сек.

Шкиперский канал - длина канала составляет 450 м, ширина - 35 м. Площадь зеркала воды - 14 тыс. 467 м<sup>2</sup>.

Галерная гавань - площадь зеркала воды составляет 89 тыс. 719 м<sup>2</sup>, объем - 178000 м<sup>3</sup>, длина - 680 м, ширина - 140 м. В плане Галерная Гавань имеет прямоугольную форму. Северная часть водоема расчленена тремя полуостровами на два небольших прямоугольных пруда. Затопляемое побережье водоема - песчаные пляжи восточного берега шириной до 1 м, западного (южнее пирса) до 2 м и в южной оконечности ширина побережья достигает 3 м. В средней части с западного берега в водоем вдается насыпной пирс, облицованный бетонными плитами, который находится в разрушенном состоянии. Склоны котловины водоема обвалованы высотой до 2 м.

Восточный склон крутой, западный более пологий. Грунт берегов песчаный. Дно плотное, местами песчаное, каменистое. Средняя глубина составляет 2 м.

Согласно определению из статьи 1 закона Санкт-Петербурга «О зеленых насаждениях в Санкт-Петербурге» (с изменениями на 25 декабря 2015 года),



объектом зеленых насаждений является совокупность зеленых насаждений и иных объектов, предназначенных для экологических и рекреационных целей, отдыха граждан (парк, сквер, сад, бульвар) (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Распределение территорий зелёных насаждений различных видов

Район	ЗНОП	Спец.наз нач.	Внутри- кварталь ное озеленен.	Огр. исполь- зования	ООПТ	Леса	Всего	% герригор ин
Василеостров ский	69	161	26	81	-	-	337	19,7

В целях сохранения и развития зелёного фонда Санкт-Петербурга и создания благоприятной окружающей среды устанавливаются нормативы качества зелёных насаждений, минимальные нормативы обеспеченности населения Санкт-Петербурга в совокупности территориями зелёных насаждений общего пользования, территориями зелёных насаждений ограниченного пользования, территориями зелёных насаждений внутриквартального озеленения и показатель обеспеченности населения Санкт-Петербурга территориями зелёных насаждений общего пользования.

Согласно пункту 3 статьи 5 закона Санкт-Петербурга «О зеленых насаждениях в Санкт-Петербурге» (с изменениями на 25 декабря 2015 года) минимальные нормативы обеспеченности населения Санкт-Петербурга территориями зелёных насаждений в Василеостровском районе составляет- 6 м<sup>2</sup> на человека (таблица 2.2).

Таблица 2.2 - Суммарная площадь зелёных насаждений общего пользования (ЗНОП), ограниченного пользования, внутриквартального озеленения, норматив обеспеченности и обеспеченность зелёными насаждениями

Район	Площадь, га	В г.ч. ЗНОП, га	Норматив м <sup>2</sup> / чел.	Обеспеченно сть, м <sup>2</sup> /чел.	Обеспеченно сть ЗНОП, м <sup>2</sup> /чел.
Василеостровский	176	69	6	9,1	3,6

Фоновые концентрации вредных веществ приведены согласно справки ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу

окружающей среды» и данных ежегодных обзоров «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге», подготавливаемых КПООС. Данные по концентрациям основных загрязняющих веществ приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Фоновые концентрации вредных веществ

Код	Наименование вещества	Класс вредности	пдк мг/м <sup>3</sup>	Фон, мг/м <sup>3</sup>	Превышение, долей ПДК
301	Азота диоксид	2	0,2	0,129	0,645
330	Серы диоксид	3	0,5	0,006	0,012
337	Углерода оксид	4	5,0	1,7	0,34
2902	Взвешенные вещества	3	0,5	0,267	0,534

На территории города Санкт-Петербург превышение максимально-разовых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе происходит несколько раз в году при сочетании неблагоприятных метеорологических условий. Хронический уровень загрязнения атмосферного воздуха характерен толь

## 2.2 Климат Санкт-Петербурга

Ленинградская область относится к зоне умеренного климата, переходного от океанического к континентальному, с умеренно мягкой зимой и умеренно теплым летом.

Основной особенностью климата здесь является непостоянство погоды, обусловленное частой сменой воздушных масс, которые, в зависимости от района формирования, подразделяются на морские, континентальные и арктические. Морские воздушные массы поступают с запада, юго-запада или северо-запада при перемещении через северо-западные районы России атлантических циклонов. Циклоны приносят пасмурную, ветреную погоду и осадки. Зимой они являются причиной резких потеплений, а летом, наоборот, несут прохладу. С востока, юга или юго-востока входит сухой континентальный воздух. В антициклонах, сформировавшихся в этих воздушных массах,

устанавливается малооблачная и сухая погода, летом жаркая, а зимой холодная. С севера и северо-востока, главным образом со стороны Карского моря, приходит сухой и всегда очень холодный арктический воздух, формирующийся надо льдом. Вторжения арктических воздушных масс сопровождаются наступлением ясной погоды и резким понижением температуры воздуха. В областях повышенного давления, сформировавшихся в этих воздушных массах, даже летом наблюдаются заморозки, а зимой – наиболее сильные морозы. Разнообразие синоптических процессов и частая смена воздушных масс являются причиной больших межсуточных колебаний метеопараметров. Перепады температуры воздуха, обусловленные сменой воздушных масс, могут значительно превышать амплитуду суточных колебаний и нередко достигают  $\pm 20^\circ$  и более.

По причине большой изменчивости погоды ото дня ко дню (а иногда и в течение одних суток) северо-западный регион России, к которому относится Ленинградская область, является одним из самых сложных для прогнозирования. Особенностью Ленинградской области является неоднородность погодных условий по территории, обусловленная большой протяженностью области с запада на восток, разнообразием ландшафта и близостью крупных водоемов (Финский залив, Ладожское и Онежское озера). Кроме резких изменений погоды, которые сами по себе являются неблагоприятными факторами, на территории области наблюдаются практически все опасные метеорологические явления: сильные ветры, в т.ч. шквалы и смерчи, снегопады и метели, гололед, туман, сильные морозы и жара, кратковременные интенсивные ливни и продолжительные дожди, грозы, град, лесные пожары, засуха и наводнения.

Санкт-Петербург отличается переходным от умеренно-континентального к умеренно-морскому климатом. Циклоническая деятельность, оказывающая преобладающее влияние на данную территорию, порождает частую смену воздушных масс. В летнее время доминируют западные и северо-западные ветры, в зимнее - западные и юго-западные. В течение всего года преобладает пасмурная, облачная погода, следствием чего является медленное испарение

влаги и ограниченное поступление на земную поверхность солнечного тепла.

Влажный, морской климат Санкт-Петербурга с тёплым летом и необычно умеренной для такой географической широты зимой объясняется влиянием Гольфстрима. На протяжении большей части года преобладают дни с облачной, пасмурной погодой, рассеянным освещением. Суммарный приток солнечной радиации здесь в 1,5 раза меньше чем на юге Украины, и вдвое меньше чем в Средней Азии. За год в Санкт-Петербурге бывает в среднем 62 солнечных дня. Средняя температура июля составляет 18,1 °С, января - -6,1 °С (таблица 2.4). Как правило, температура в центральных районах города выше, чем на окраинах и в ближайших пригородах, разница температур может достигать 10 °С.

Таблица 2.4 - Климат Санкт-Петербурга (1883 - 2020) [21]

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Абсолютный максимум, °С	8,6	10,2	14,9	25,3	30,9	34,6	34,3	33,5	30,4	21,0	12,3	10,9	34,6
Средний максимум, °С	-0,5	-0,4	4,5	10,2	16,1	20,6	22,9	21,3	15,4	9,1	1,9	0,2	10,1
Средняя температура, °С	-4,3	-5	-1	5,4	10,9	15,9	18,8	17,1	и,8	6,2	0,0	-3	6,1
Средний минимум, °С	-6,1	-6,7	-2,5	2,6	7,1	11,9	14,7	13,7	8,8	4,3	-2	-5,5	3,4
Абсолютный минимум, °С	-35,9	-35,2	-29,9	-21,8	6'	0,1	4,9	1,3	-3,1	-12,9	-22,2	-34,4	-35,9
Норма осадков, мм	40	31	35	33	38	64	78	77	67	65	56	49	633

Территория исследуемой области находится под воздействием морских (атлантических) и континентальных воздушных масс умеренных широт, частых вхождений арктического воздуха и активной циклонической деятельности. Поскольку вхождения как атлантического воздуха (по южной окраине циклонов), так и континентального (по северной окраине отрогов сибирского антициклона) происходят преимущественно в виде западных, южных и юго-западных потоков, ветры этих румбов являются преобладающими.

На территории области формируется климат, переходный от континентального к морскому с умеренно тёплым летом, довольно продолжительной, умеренно холодной зимой и неустойчивым режимом погоды

[1, с.8].

За год в Санкт-Петербурге бывает в среднем 62 солнечных дня. Поэтому, на протяжении большей части года преобладают дни с облачной, пасмурной погодой, рассеянным освещением. Продолжительность дня в Санкт-Петербурге меняется от 5 часов 51 минуты 22 декабря до 18 часов 50 минут 22 июня [5, с.79].

Поскольку одним из важнейших факторов, влияющих на образование человеческих поселений на том или ином месте, являются условия произрастания растительности, в качестве системы классификации типов климата выберем ботаническую классификацию Кёппена, в которой определены границы ландшафтно-географических зон. Отметим, что по степени метеорологической проработки и дифференциации типов климата эта классификация является одной из наиболее подробных [10, с. 419].

Согласно данной классификации, Санкт-Петербург расположен в зоне Dfb, что соответствует влажному континентальному климату с теплым летом, также именуемому бореальным с равномерным увлажнением (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Зонирование климата Европы

Это умеренно холодный климат, без сухого сезона; в зимний период наблюдается устойчивый снежный покров; имеются условия для произрастания лиственных лесов. Средняя температура воздуха самого холодного месяца не превышает  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T < -3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), среднемесячная температура воздуха самого теплого месяца составляет менее  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\text{тах}} < 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); при этом четыре месяца в году средняя температура воздуха превышает  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $4 T_{\text{топ}} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

В целом, климат города можно охарактеризовать как переходный от континентального к морскому, формирующийся за счёт морских и континентальных воздушных масс, активной циклонической деятельности. [27]

Радиационные условия определяются положением области в северных широтах и, следовательно, большой изменчивостью в течение года высоты стояния солнца над горизонтом и продолжительности дня. В целом, за год радиационный баланс (количество тепла, которое остаётся от суммарной радиации после отражения и излучения) положителен (порядка  $30\text{ ккал/см}^2\text{год}$ ). Большая часть этого тепла (до 75%) расходуется на испарение, а остальное - на таяние снега и льда и на нагревание почвы и воздуха .

Период с положительным радиационным балансом длится от третьей декады марта до начала ноября. Наибольших значений радиационный баланс достигает в мае, июле, составляя  $7,0 - 8,5\text{ ккал/см}^2$ , то есть 50 - 60 % суммарной радиации, наименьших - в декабре - январе -  $0,5 - 1,2\text{ ккал/см}^2$ . (Сумма отрицательного радиационного баланса в среднем равна  $2-3\text{ ккал/см}^2$  [4, с. 12].

Годовой радиационный баланс области положителен, но тепла недостаточно для активного испарения, нагревания воздуха, почвы.

Циркуляция атмосферы. На климат г. Санкт — Петербург, как известно, оказывают непосредственное влияние постоянные Центры действия атмосферы (ЦДА). Так, в число указанных выше ЦДА входят такие барические образования, как: Арктический максимум давления, Исландский минимум давления, Азорский максимум давления (в меньшей степени, скорее, опосредованно) [17].

По характеру преобладающих ветров в течение года над территорией

города можно сделать вывод о преобладании зонального переноса (западно-восточный перенос) [9].

Меридиональный перенос (северо-южный), скорее, не является характерным типом циркуляции, возникает в связи с перемещением в отдельные сезоны года северо-западных («ныряющих» циклонов).

Как показали исследования Главной геофизической обсерватории (п. Пулковое, г. Санкт — Петербург), чрезвычайная изменчивость погоды в Петербурге обусловлена, как известно, прохождением атлантических циклонов, траектории которых, в свою очередь, определяются топографией изобарических поверхностей и, следовательно, характером общей циркуляции атмосферы, на которую влияют изменения солнечной и магнитной активности.

Радиационный режим и условия инсоляции. Акватория Финского залива оказывает большое влияние на пространственно-временное распределение всех климатических показателей, в том числе и на продолжительность солнечного сияния, которая зависит как от астрономических факторов, длины дня и высоты солнца, так и от циркуляционных, проявляющихся через облачность и прозрачность атмосферы.

Таким образом, среднемесячные и годовые значения метеорологических параметров по данным за период 1961-2020 гг. следующие (рисунок 2.6):

- среднегодовая температура воздуха в Санкт-Петербурге составляет  $5^{\circ}\text{C}$ , в западных районах области  $3,8-5^{\circ}\text{C}$ , в восточных районах  $2,7-3,5^{\circ}\text{C}$ ;
- среднее многолетнее число дней в году со среднесуточной температурой выше  $0^{\circ}\text{C}$  в Санкт-Петербурге составляет 232 дня;
- средняя дата перехода среднесуточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  в сторону положительных значений весной – 29 марта (по области 4-9 апреля), в сторону отрицательных значений осенью – 17 ноября (по области 12-14 ноября);
- самый холодный месяц – февраль со средней температурой от  $-8,0^{\circ}\text{C}$  до  $-8,5^{\circ}\text{C}$ ;
- самый теплый месяц – июль со средней температурой от  $17,4^{\circ}\text{C}$  до

18,0°C;

– годовое количество осадков – 517-557 мм (с поправками на смачивание и ветровой недоучет 637-666 мм);

– суточный максимум осадков – 58 мм.

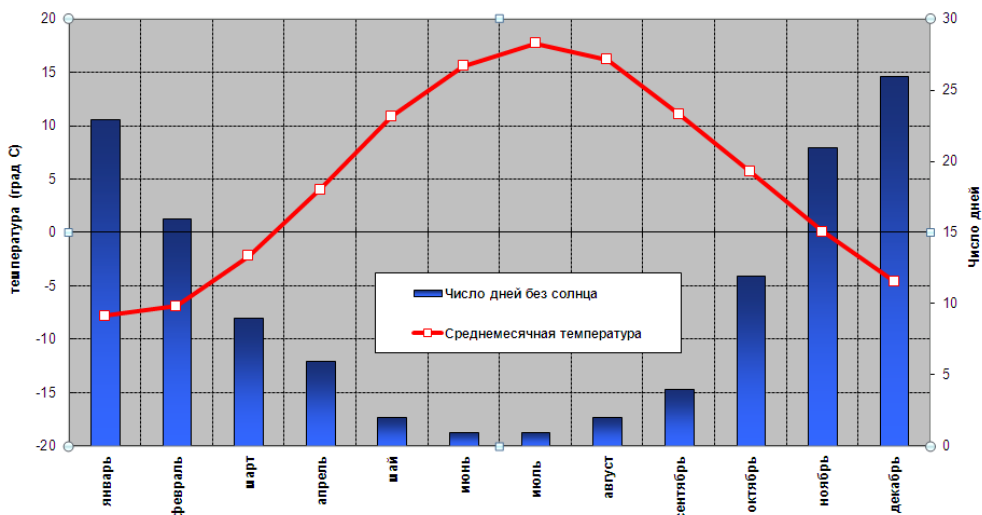


Рисунок 2.6 - Средние многолетние данные о температуре воздуха и числе пасмурных дней в Санкт-Петербурге [24]

Повторяемость преобладающих направлений ветра в городе Санкт-Петербург по данным справки ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» представлена на рисунке 2.7.

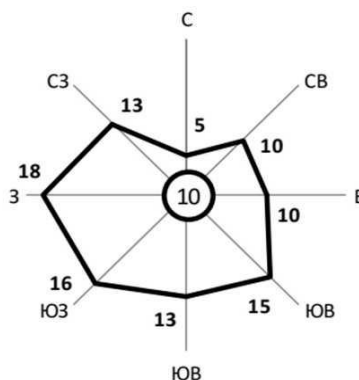


Рисунок 2.7 - Повторяемость преобладающих направлений ветра

Санкт-Петербург по своему географическому местоположению попадает в зону избыточного увлажнения. Выпадение осадков в Санкт-Петербурге



определяется главным образом интенсивностью циклонической деятельности. В течение года осадки выпадают неравномерно: большая их часть (67%) приходится на теплый период и только 33% – на холодный. В среднем за год выпадает 636 мм осадков. Распределение среднесуточного годового количества осадков по месяцам представлено в таблице 2.5 и на диаграмме рисунка 2.8.

Таблица 2.5 - Годовое распределение месячных сумм осадков

Месяц	Норма (мм) с 1961 по 1990 гг.	Максимальное суточное количество осадков (мм)	Среднее число дней с осадками более 0,1 мм
Январь	38	23	20
Февраль	31	13	17
Март	35	26	14
Апрель	33	29	13
Май	38	56	12
Июнь	58	45	13
Июль	79	69	14
Август	81	76	15
Сентябрь	69	34	16
Октябрь	67	37	17
Ноябрь	56	28	19
Декабрь	51	28	21

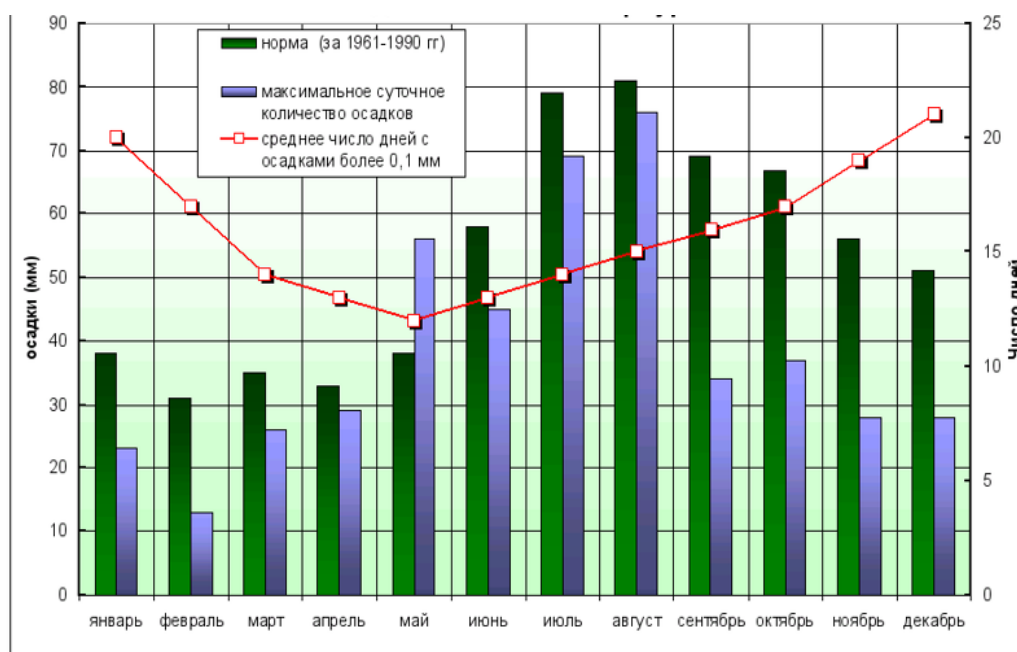


Рисунок 2.8 - Годовое распределение месячных сумм осадков, числа дней с осадками и максимального суточного количества осадков в Санкт-Петербурге

Максимум осадков в Санкт-Петербурге приходится обычно на август (81 мм), а минимум – на февраль (31 мм). В отдельные годы, однако, такая закономерность нарушается, и как максимум осадков, так и минимум может наблюдаться в разные месяцы.

Максимальное количество осадков, выпадавшее за сутки, или суточный максимум, также заметно выше в летние месяцы (45...76 мм), чем в зимние (13...28 мм). Суточный максимум достигает 42...94% от месячной нормы осадков, а в мае даже превышает её на 47%.

Самое большое количество осадков, выпадавшее в Санкт-Петербурге за одни сутки, составляет 75,7 мм. Такое количество воды обрушилось на город во время ливня 8 августа 1947 года. Пространственное распределение осадков, особенно ливневых, отличаются большой изменчивостью. О крайне неравномерном распределении осадков даже в пределах города говорит, например, тот факт, что во время ливня 8 августа 1947 года, когда в центральных районах был зафиксирован абсолютный максимум, в восточной части города количество выпавших осадков составило всего от 14 до 23 мм.

Одной из основных характеристик осадков является их интенсивность. В холодный период года, когда в Санкт-Петербурге преобладают продолжительные обложные осадки, интенсивность их невелика, в среднем 0,2...0,4 мм/ч. В летние месяцы интенсивность возрастает до 1,1...1,3 мм/ч за счет ливневых осадков.

Показательной характеристикой режима увлажнения является число дней с осадками. За день с осадками принято считать сутки, в течение которых выпадает 0,1 мм и более осадков. Больше половины дней в году (191 день) в Санкт-Петербурге отмечаются осадки. Максимальное число дней с осадками приходится на осенне-зимние месяцы (17-21 день), минимальное – на весенне-летние (12-15 дней). См. график на диаграмме. Средняя продолжительность выпадения осадков в день с осадками уменьшается от зимы (10...11 ч) к лету (около 4 ч).

Несомненно, что климат Санкт-Петербурга является дождливым, однако,

и у нас бывают периоды бездождя. Непрерывные периоды, когда осадки не выпадают совсем или их суточное количество не превышает 0,1 мм, могут длиться до 25-30 дней. Последний раз столь длительный период без осадков отмечался у нас с 22 апреля по 18 мая 2006 года.

Далее рассмотрим отдельно климатические характеристики сезонов года в городе Санкт-Петербург.

**Зима.** Характер зимней погоды определяется в основном влиянием Атлантического океана и Балтийского моря. Зима в Петербурге умеренно холодная, с частыми оттепелями, которые могут составлять до половины сезона. Обычно с устойчивым снежным покровом (но бывают годы, когда снежный покров устанавливается только в середине января). Осадки выпадают преимущественно в виде снега, но возможен дождь, что часто и наблюдалось в последние годы. Период со среднесуточной температурой ниже 0 °С (то есть климатическая зима) длится около 130 дней, начинаясь в середине ноября и заканчиваясь во второй половине марта.

Одни из самых тёплых зим в Петербурге за всю историю метеонаблюдений наблюдались в начале XXI столетия. В период погодных аномалий конца 2006 - начала 2007 гг. были установлены новые абсолютные рекорды температуры. Так, 6 декабря 2006 г. температура воздуха поднялась до +10,9 °С, что стало абсолютным максимумом температур в зимний период.

В связи с северным расположением города в дни, близкие к зимнему солнцестоянию, Солнце едва поднимается над горизонтом выше 5 градусов (минимальный угол близ высшей кульминации - 7 градусов 37 минут в день зимнего солнцестояния), к тому же в городе почти не бывает пасмурных дней в этот период. Поэтому зима в городе очень тёмная

**Весна.** Весна в Петербурге обычно наступает в конце марта, когда среднесуточная температура становится устойчиво положительной и сходит снежный покров, но возможны отклонения от этого срока, когда снежный покров окончательно сходит уже в начале марта или в начале апреля. Часто бывают возвраты холода, когда после периода тепла в апреле (15-20 °С), температура

может упасть до 5-10 °С в начале мая, сопровождаясь осадками в виде мокрого снега, возможны даже снегопады.

Лето. Лето начинается обычно неустойчивой, иногда прохладной погодой, частые дожди, возможен град. Со второй половины июня до конца августа температура днём, как правило, превышает 20 °С, возможны и периоды жаркой погоды с температурой выше 30 °С, за счёт высокой влажности жара ощущается сильнее. Самая высокая летняя температура была зафиксирована на юге Петербурга в июле 2006 г. и составила порядка +35 °С.

Осень. Осенью часты большие колебания температуры, возвраты тепла (15-20 °С) в конце сентября и начале октября. Дожди становятся более продолжительными, но менее интенсивными, чем летом. Постепенно пасмурная и сырая погода становится преобладающей. Первые заморозки случаются в начале ноября, установление снежного покрова происходит обычно к концу ноября.

Естественно-растительный покров относится к зоне тайги, для которой характерно господство хвойных лесов - еловых и сосновых, которые по мере продвижения к югу постепенно переходят в смешанные леса с примесью широколиственных пород - дуба, липы, клёна.

Во многих местах с богатыми почвами леса вырублены, освобождённые площади заняты под пашни. Особенно сильно обезлесены юг и юго-запад Ленинградской области [6, с. 74].

Вследствие особенностей климатических факторов и почвенного покрова с преобладанием подзолистых почв, на территории Санкт - Петербурга распространена неприхотливая растительность (хвойная), которая относится к природной зоне тайги.

Таким образом, можно утверждать, что значительно сократилась продолжительность зимы, за счёт чего увеличилась продолжительность других сезонов [7].

Город оказывает заметное влияние на формирование климата. Интегральная прозрачность атмосферы в Санкт - Петербурге, в среднем, на 3-

5% ниже, чем в Ленинградской области.

В результате снижается приход радиации и уменьшается число часов солнечного сияния, однако радиационный баланс в пределах города больше, чем в окрестностях.

В центре Санкт - Петербурга теплее, чем на окраинах, на 0,8-1,5 °С зимой - за счет выброса тепла промышленными предприятиями и системами отопления и на 0,5-0,7 °С - летом - за счет нагревания каменных и мостовых. Абсолютный минимум температур в городе на 4-5 °С выше. Безморозный период в центре Санкт - Петербурга продолжительнее на 25 дней, чем в Лесном, и на 43 дня, чем в аэропорту «Пулково». Городская застройка существенно влияет на ветровой режим. Средние месячные скорости ветра в центральных районах на 1-1,5 м/сек меньше, чем на побережье.

Кроме глобальных и региональных климатических тенденций на этом графике четко прослеживается развитие «городского острова тепла», связанное с градостроительными преобразованиями естественного ландшафта дельты Невы и побережья Финского залива. Массивы месячных значений среднесуточной, минимальной и максимальной температуры и атмосферных осадков в Санкт-Петербурге представлены в сети Интернет в архивах Мирового центра метеорологических данных «А» (US NCDC), Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — Мирового центра данных «В» (ВНИИГМЦ-МЦД) [26].

Следует отметить, что радиационный баланс в некотором роде рукотворный фактор. В пределах территории города, для которой характерна большая площадь застроек, осуществляющих выброс тепла - зимой, а также за счёт нагревания некоторых из них (мостовых) - летом, радиационный баланс выше, чем за её пределами. То есть, увеличивая количество зданий в городе, можно повысить его тепловой баланс.

Таким образом, на формирование климата г.Санкт-Петербург большое влияние оказывают особенности радиационного режима, циркуляции атмосферы и подстилающей поверхности. В частности, контрастность и многообразие

рельефа (максимальные высоты на юго-западе составляют 176 м, на севере - около 60 м); близость к Финскому заливу Балтийского моря и протекающая в пределах города р. Нева, кроме указанных выше причин, способствуют формированию специфического климата в г. Санкт-Петербург: влажного, близкого к морскому, с умеренно теплым летом и довольно продолжительной умеренно холодной зимой.

### 3 Анализ температурного режима и режима осадков на территории города Санкт-Петербурга и Ленинградской области 2018-2020 гг.

#### 3.1 Исходные данные для анализа температурного режима и режима осадков

Рассмотрим показатели температуры воздуха и ее динамика. Одним из основных метеорологических элементов климата любого региона является температурный режим.

Средняя годовая температура воздуха на территории Северо - Запада колеблется от 2 °С северо-восточной части) до 4,5 °С (в южной) Определяющим фактором в распределении температуры и других характеристик термического режима в холодную половину года является циркуляция атмосферы. В этот период территория области испытывает наибольшее влияние Атлантики.

Он зависит от многих факторов: широты местности, солнечной радиации, подстилающей поверхности и ряда других факторов. Годовой ход температуры воздуха по среднемноголетним данным для г. Санкт - Петербург (рисунок 3.1).

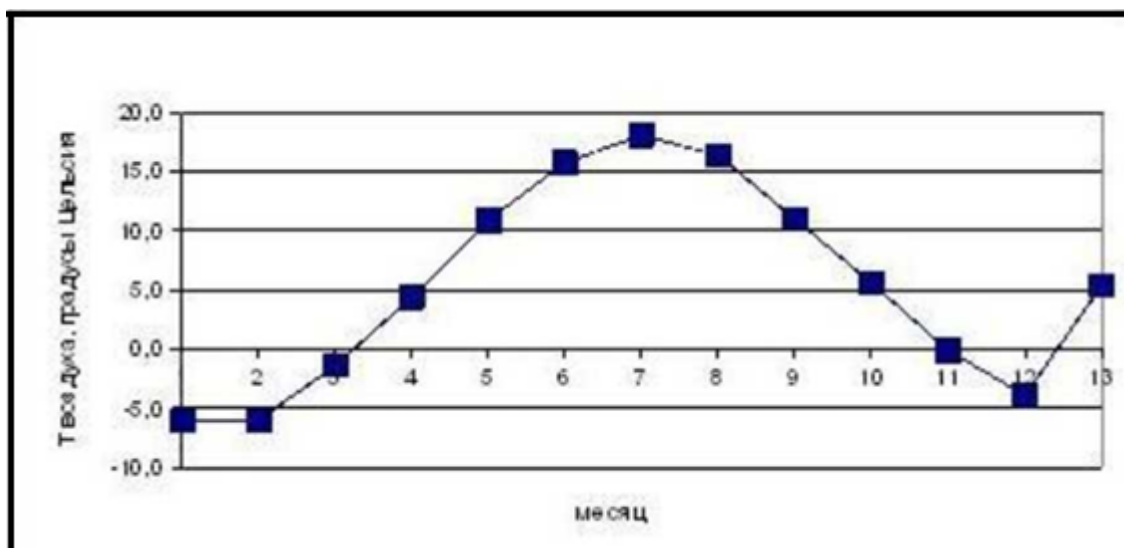


Рисунок 3.1 - Годовой ход температуры воздуха по среднемноголетним данным для г. Санкт - Петербург

При продвижении на восток это влияние заметно ослабевает, обуславливая рост континентальности и понижения температуры зимой на 3 - 4 °С. Самый

холодный месяц в году - январь, а в западных районах и на побережьях крупных водоёмов - февраль.

Средняя месячная температура в январе - феврале около - 9°C. Наглядно температуру Северо - Запада в холодное время года можно пронаблюдать по изотермам января.

Обычно в конце октября - начале ноября появляется снежный покров, но он, как правило, держится недолго. В это время возможны неоднократные кратковременные образования снежного покрова. Приблизительно с половины декабря средняя суточная температура воздуха переходит через - 5 °С . На большей части территории этот период длится до середины марта, то есть в среднем 3 месяца.

В связи с большой изменчивостью циркуляционных процессов погодные условия отдельных лет в значительной степени отличаются от общих условий. Так, аномально холодными по температуре воздуха были зимы 1939 - 40, 1940 - 41 гг. [20, с. 336].

Абсолютный минимум температуры -36 °С (1940 г). Экстремально холодные зимы связаны с преобладанием арктического воздуха. Нередко случаются и очень мягкие зимы, когда средняя температура за месяц может превышать норму на 7 °С [5, с.7].

Вторжения теплого воздуха могут приводить к резкому повышению температуры до + 6°C.

В среднем, первый заморозок бывает 10 октября, самый ранний отмечен 15 сентября 1944 г. На почве заморозки наступают раньше, самый ранний - 29 августа 1973 г.

Весной и летом циклоническая «деятельность» и общая циркуляция атмосферы ослабевают, и в формировании термического режима возрастает роль радиационных факторов.

Термические условия летних месяцев отличаются значительной однородностью по территории, и в их распределении более отчётливо проявляется влияние широты. Средняя температура самого тёплого летнего



месяца - июля - изменяется по территории всего в пределах  $1^{\circ}$  . Средняя температура июля  $16 - 17^{\circ}\text{C}$ .

Режим и распределение по территории минимальных температур во многом определяются местными особенностями. Высокие температуры воздуха летом связаны с установлением над регионом устойчивого антициклона и приходом теплого сухого воздуха.

Выше  $25^{\circ}\text{C}$  температура бывает в среднем 16 дней в году, абсолютный максимум  $34^{\circ}\text{C}$  (1972, 1985). Проникновение арктических воздушных масс в тыловых частях северо - западных циклонов может приводить к резкому снижению температуры воздуха летом (абсолютный минимум  $0^{\circ}\text{C}$  в июне 1930).

За начало весны принимается устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через нуль. Весна часто затяжная. Средняя суточная температура переходит через  $0^{\circ}\text{C}$  3 апреля, а через  $10^{\circ}\text{C}$  - 18 мая. Последний заморозок отмечается 5 мая, но возможен и до 28 мая, а на почве - 6 июня. Ср. продолжительность безморозного периода 157 дней .

В начале лета ещё возможны заморозки. К концу мая они заканчиваются почти повсеместно и только на востоке Ленинградской области возможны заморозки в первой половине июня. В летнем сезоне выделяется период средних суточных температур выше  $15^{\circ}\text{C}$  .

Осень наступает в конце первой - начале второй декады сентября. Продолжительность осени около двух месяцев. Осень обычно затяжная, переход средней суточной температуры от  $10^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$  длится 55 дней. В течение 127 дней средняя суточная температура выше  $10^{\circ}\text{C}$ .

За последние 10 лет активизировалась циклоническая деятельность, особенно зимой. Средняя годовая температура возросла на  $0,9^{\circ}\text{C}$  по сравнению с нормой ( $4,4^{\circ}\text{C}$ ). Прежде всего, за счет периода с января по март (рост на  $2,5 - 3,1^{\circ}\text{C}$ ). Температура самого теплого месяца - июля - осталась на уровне нормы.

На фоне такой тенденции наблюдаются периоды с аномально холодной погодой зимой (декабрь) и сухой и жаркой летом (июль). Это происходит, когда над Европейской частью России устанавливается обширный блокирующий

антициклон.

Петербургские метеостанции располагают данными с 1722 года. Самая высокая температура, отмеченная в Санкт-Петербурге за весь период наблюдений, +34,6 °С, а самая низкая -35,9 °С .

Температура города в первой части года (январь - июль) напрямую зависит от положения циклонов и антициклонов над территорией. Средняя годовая температура зимой -9°С. Вследствие сильной изменчивости циклонической деятельности погодные условия весьма не стабильны в это время.

К наступлению лета снижается роль циклонического фактора в формировании температуры, возрастает роль поступающей солнечной радиации, поэтому температурные условия летом отличаются большей однородностью по территории, чем зимой.

Средняя годовая температура летом 16 - 17° С. В целом, температура области нестабильна, так как зависит от ряда факторов, которые являются независимой природной силой.

На рисунках 3.2 и 3.3. представлены данные тенденции изменения годового хода температуры воздуха г. Санкт — Петербург за период 1990- 2020 гг. составленные автором по данным Северо-западного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, ст. Санкт - Петербург, ГГО.

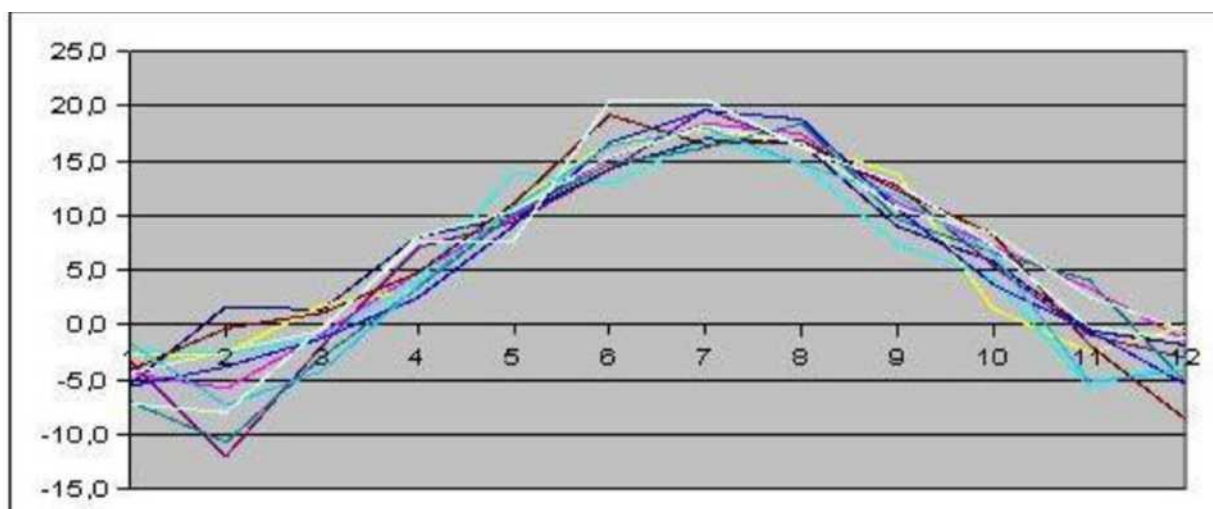


Рисунок 3.2 - Тенденции годового хода температуры воздуха г. Санкт-Петербург за период времени с 1990 по 2020 гг.

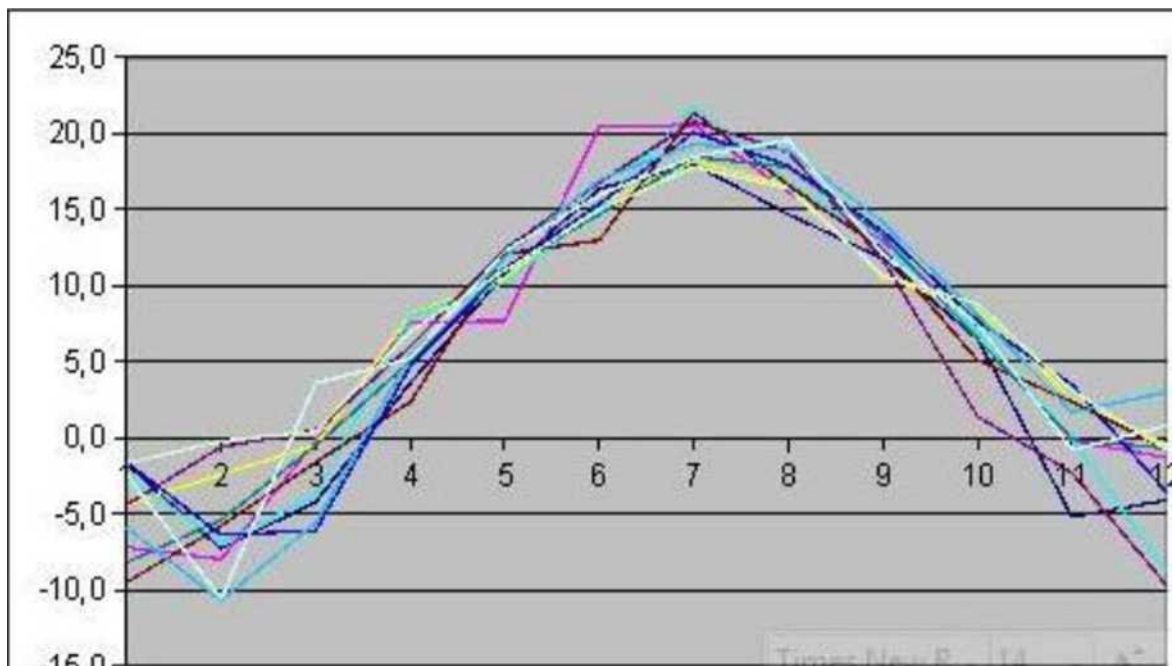


Рисунок 3.3 - Тенденции годового хода температуры воздуха г. Санкт-Петербург за период времени с 1998 по 2020 гг.

Сравнивая полученную информацию, можно достаточно четко проследить изменения последовательности и закономерности годового хода температуры воздуха для города.

В частности, период времени с 1753 по 1786 годы отличается выровненным и спокойным ходом температуры воздуха, можно видеть, что значения указанного параметра для месяцев разных лет достаточно близки. Данная тенденция повторяется и для периодов с 1882 по 1892, а также с 1958 по 1968 годы. Однако в конце XX века — начале XXI весьма заметен некоторый «разброс» значений помесечной температуры для отдельных лет.

Вероятно, данная тенденция может быть объяснена описываемой в науке ситуацией «разбалансировки или нервозности климата» по К.Я. Кондратьеву и ряду других ученых, то есть возможным влиянием природных факторов флуктуации климата и его элементов.

Облачность и осадки. Для районов Санкт - Петербурга характерна пасмурная погода с общей облачностью 8-10 баллов (до 177 дней в году). Наибольшую повторяемость (48%) имеют слоисто-кучевые облака, их максимум

в сентябре – январе (рисунок 3.4).

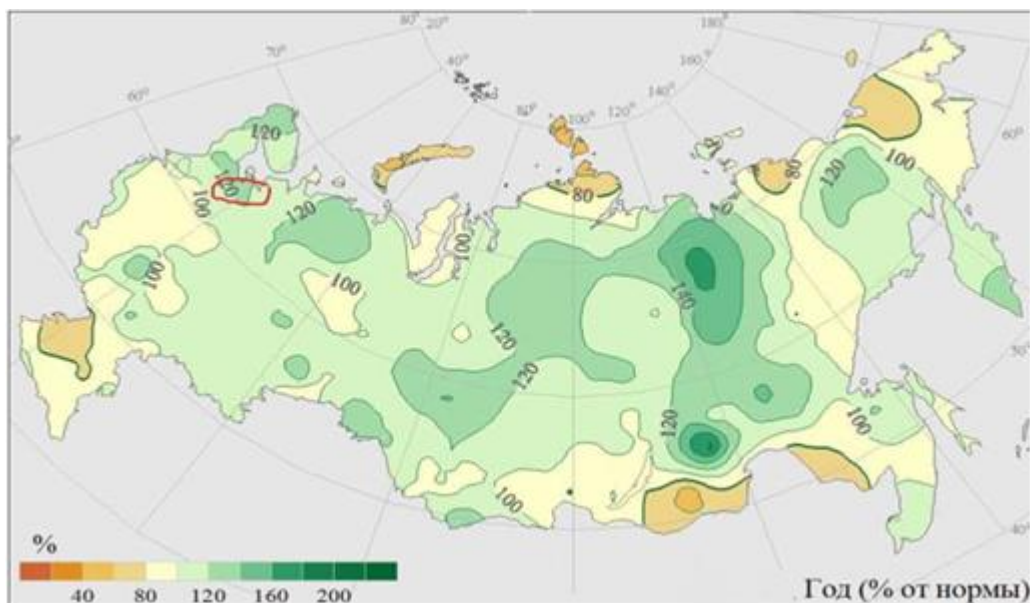


Рисунок 3.4 - Поля годовых сумм осадков на территории России, 2000-2020 гг.

[25]

Летом доля кучевых облаков 25-30%. В среднем, 145 дней в году относительная влажность воздуха не менее 80%. На фоне большой влажности воздуха, особенно зимой, часты туманы (в среднем, 27 дней в году). Средняя продолжительность туманов 3-4 часа (в исключительных случаях - 1,5 суток). Число дней с низкой влажностью воздуха (до 30%), в среднем, не превышает 10 (чаще всего в мае) (рисунок 3.5).

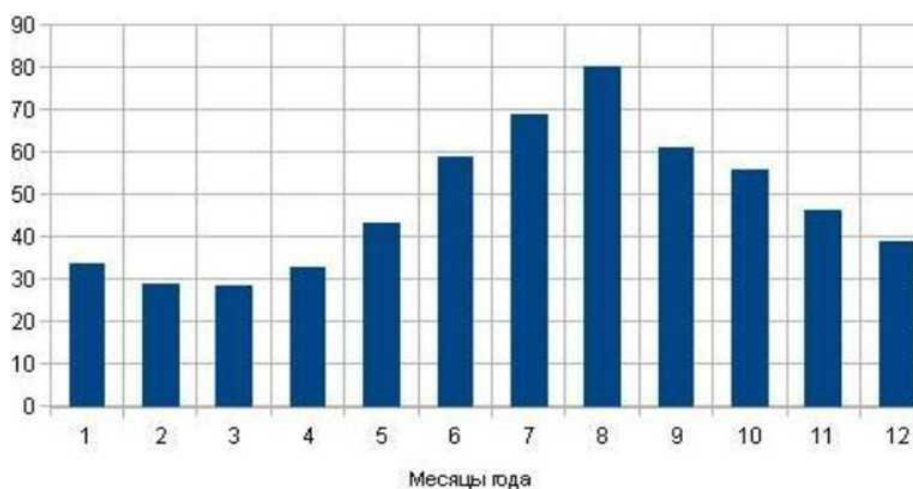


Рисунок 3.5 - Годовой ход количества осадков в г. Санкт — Петербург по среднемноголетним данным

За счёт недостаточного количества солнечной радиации, поступающей на территорию области, (что, в свою, очередь, ведёт к медленному испарению влаги), активной циклонической деятельности и ряда других климатических факторов, перечисленных в предыдущем подразделе, 145 дней в году относительная влажность воздуха в городе не менее 80%.

Территория области расположена в зоне избыточного увлажнения [4, с.7]. На распределение осадков большое влияние оказывают орографические особенности местности и подстилающая поверхность, ведущие к нарушению плавного характера изменения осадков. Даже небольшие возвышенности обуславливают перераспределение осадков [5].

Больше всего осадков выпадает на западных и юго-западных (наветренных) склонах возвышенностей и гряд, и наименьшее их количество приходится на побережья водоемов (Ладожского, Онежского озер, Финского залива). Годовое количество осадков составляет 550-850 мм. В годовом ходе минимум осадков наблюдается, как правило, в марте - мае, максимум - в августе

В режиме увлажнения большая роль принадлежит снежному покрову. Максимальной высоты снежный покров достигает обычно в январе-феврале и держится до конца марта [6, с. 22] (рисунок 3.6).

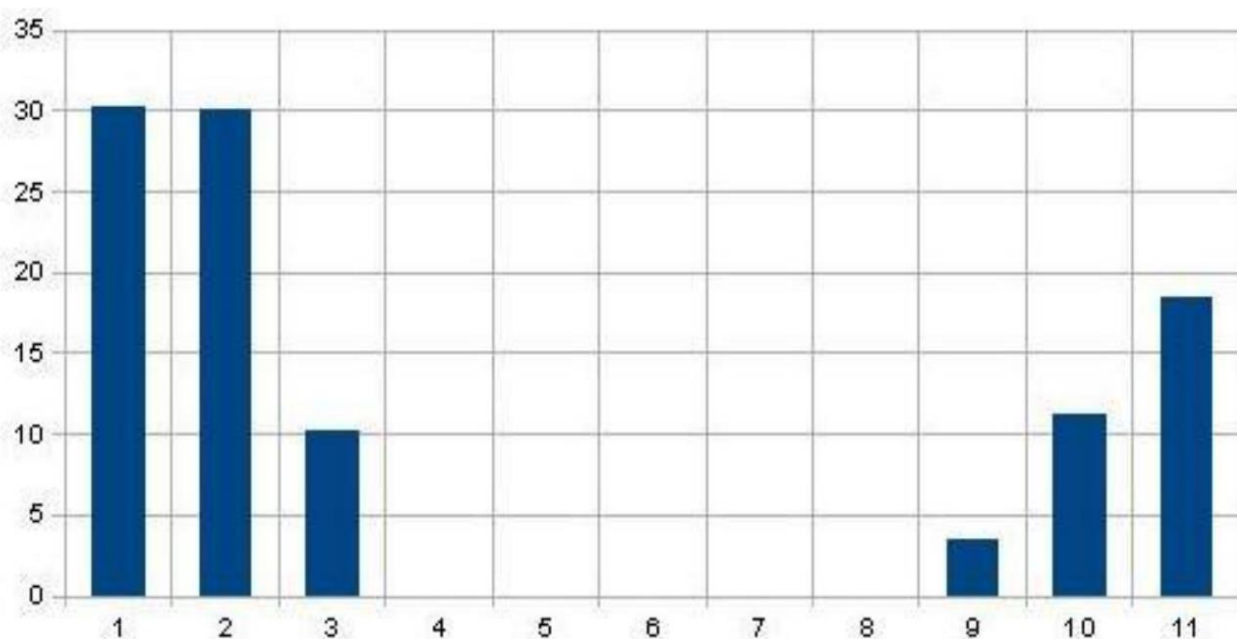


Рисунок 3.6 - Среднегодовое значения высоты снежного покрова для г. Санкт-Петербург

Наибольшее количество осадков - 825 мм в год, наименьшее - 417 мм. На долю жидких осадков приходится 65% (бывают и зимой), твердых - 19%, смешанных - 16%.

В последние годы наметилась тенденция к уменьшению количества осадков на 70-100 мм в год (в основном, за счет летних и осенних месяцев). Среднее максимальное суточное количество осадков 30 мм, абсолютный максимум 76 мм (8 августа 1947). Дней с осадками свыше 0,1 мм - 191 в году. Коэффициент увлажнения (отношение количества осадков к испаряемости) равен 1,9.

Высота снежного покрова, в среднем, не более 33 см, редко до 50-60 см. Самая ранняя дата появления снежного покрова - 3 октября, устойчивый снежный покров формируется к 7 декабря, средняя дата схода снежного покрова - 16 апреля, самая поздняя - 9 мая.

Метели бывают, в среднем, 14 дней в году, максимальное число дней с метелью за год - 33. Число дней с гололедом может достигать до 26. Коммуникации зимой (до 39 дней в году) испытывают негативное воздействие изморози. В среднем, за год отмечается 1-2 дня с градом. Среднее число дней в году с грозами 18, максимальное - 32. Большинство гроз (78%) наблюдается летом. Отмечены грозы продолжительностью около 5 часов.

Санкт - Петербург находится в зоне избыточного увлажнения, что обуславливается движением арктических воздушных масс, циклонической деятельностью на территории.

На распределение осадков внутри города влияют орографические особенности и характер подстилающей поверхности. Больше всего осадков выпадает на западных и юго-западных (наветренных) склонах возвышенностей и гряд, и наименьшее их количество приходится на побережья водоёмов (Ладожского, Онежского озёр, Финского залива). Годовое количество осадков составляет 550 - 850 мм.

## 3.2 Анализ распределения и изменения острова тепла Санкт-Петербурга с использованием спутниковых данных

### 3.2.1 Методика проведения исследования

При проведении исследования были использованы данные спутниковой съемки или данные дистанционного зондирования (ДДЗ). Они являются важнейшим источником оперативной информации о природной среде, используемый при исследовании земной поверхности, создании и поддержании в актуальном состоянии тематических карт, и для других целей. Методы дистанционного зондирования основаны на получении информации о земной поверхности путем регистрации приходящего от нее электромагнитного излучения, отраженного или собственного. Возможность опознавания различных объектов и изучение их свойств дистанционными методами обусловлены тем, что поглощение, рассеивание, отражение и излучение электромагнитной энергии в различных зонах спектра специфичны для каждого типа земной поверхности и объектов, расположенных на ней. Анализ спектральных характеристик объектов, структурных и текстурных особенностей изображений позволяет получить информацию для их последующего дешифрирования и интерпретации.

Для решения задач обнаружения и оценке островов тепла были необходимы космические снимки с соответствующим разрешением и покрытием. Снимки спутниковой системы Landsat 8 оказались наиболее подходящим материалом.

Программа Landsat, осуществляемая США, является одной из наиболее успешных на мировом рынке ДДЗ, с 1972 года в рамках программы было запущено семь спутников. Программа выполняет многозональную периодически повторяемую долговременную съемку с помощью сканирующих устройств (радиометров) для решения природно-ресурсных, природоохранных, мониторинговых и картографических задач. Программу осуществляют три крупнейших правительственных организации США: NASA, NOAA, USGS (Королев, 1999).

Установленное на спутниках серии Landsat оборудование позволило собрать большую коллекцию спектрзональных снимков, востребованных в области сельского хозяйства, в картографии, геологии, лесоводстве, образовании и национальной безопасности. Восьмой спутник в рамках программы Landsat (седьмой выведенный на орбиту) изначально назывался Landsat Data Continuity Mission (LDCM), создан совместно NASA и USGS. Выведен на орбиту 11 февраля 2013 года. Перед началом работ была формализована общая методика обработки данных (рисунок 3.7) на основе анализа ранее проведенных отечественных и зарубежных исследований в этой области.



Рисунок 3.7 - Общая блок-схема методики проведения исследования

В качестве исходных данных были использованы снимки Landsat 8, полученные из открытой ресурсной базы сайта геологической службы США. При подборе космических снимков для исследования были взяты 2 временных периода: 2014 - 2015 и 2019 - 2020 года. При этом снимки отбирались, согласно сезонам, зима-лето, без точного совпадения дат съёмки год к году. В результате были выбраны 20 наборов снимков для 5-ти территорий (таблица 3.1). Сведения о погодных условиях были получены из открытого архива метеорологических данных gr5 [26].



Таблица 3.1 - Дата и условия съемки выбранных материалов

Город	Дата	Температура воздуха, °С
Москва	10.02.2020	-0.3
	06.06.2019	+ 22.3
	31.01.2014	- 18.3
	10.05.2015	+ 15.4
Санкт-Петербург	21.02.2019	- 15.6
	28.08.2019	+ 19.1
	21.01.2015	- 11.2
	24.08.2015	+ 20.4

Для обнаружения остров тепла и дальнейшей обработки было выбрано семейство программных продуктов ArcGIS, в частности: ArcMap и ArcCatalog. Данная программа была выбрана, поскольку обладает большими возможностями для решения любых картографических и геоинформационных задач.

На данном этапе для каждой территории имелся набор из 4 изображений, содержащих информацию о температуре поверхности земли по сезонам в двух временных периодах.

Для получения изображений островов тепла требовалось осуществить наложение изображений, с помощью инструмента взвешенное наложение (Weighted overlay) модуля Spatial Analyst. С помощью, него удастся определить, какие участки обладают стабильно высокими температурами по сравнению с прилегающими территориями во все рассматриваемые временные периоды. Но учитывая требования для входных данных, перед использованием этого инструмента надо провести переклассификацию изображений, поскольку растровые изображения должны быть целочисленные и переклассифицированы по единой шкале. Для этого используется инструмент переклассификация (reclassify) с помощью гистограмм яркостных температур на каждую исследуемую дату съемки. Для единой шкалы было определено 7 градаций температур (рисунок 3.8):

- минимальные температуры;
- низкие температуры;
- температуры ниже среднего;

- средние температуры;
- температуры выше среднего;
- высокие температуры;
- максимальные температуры.

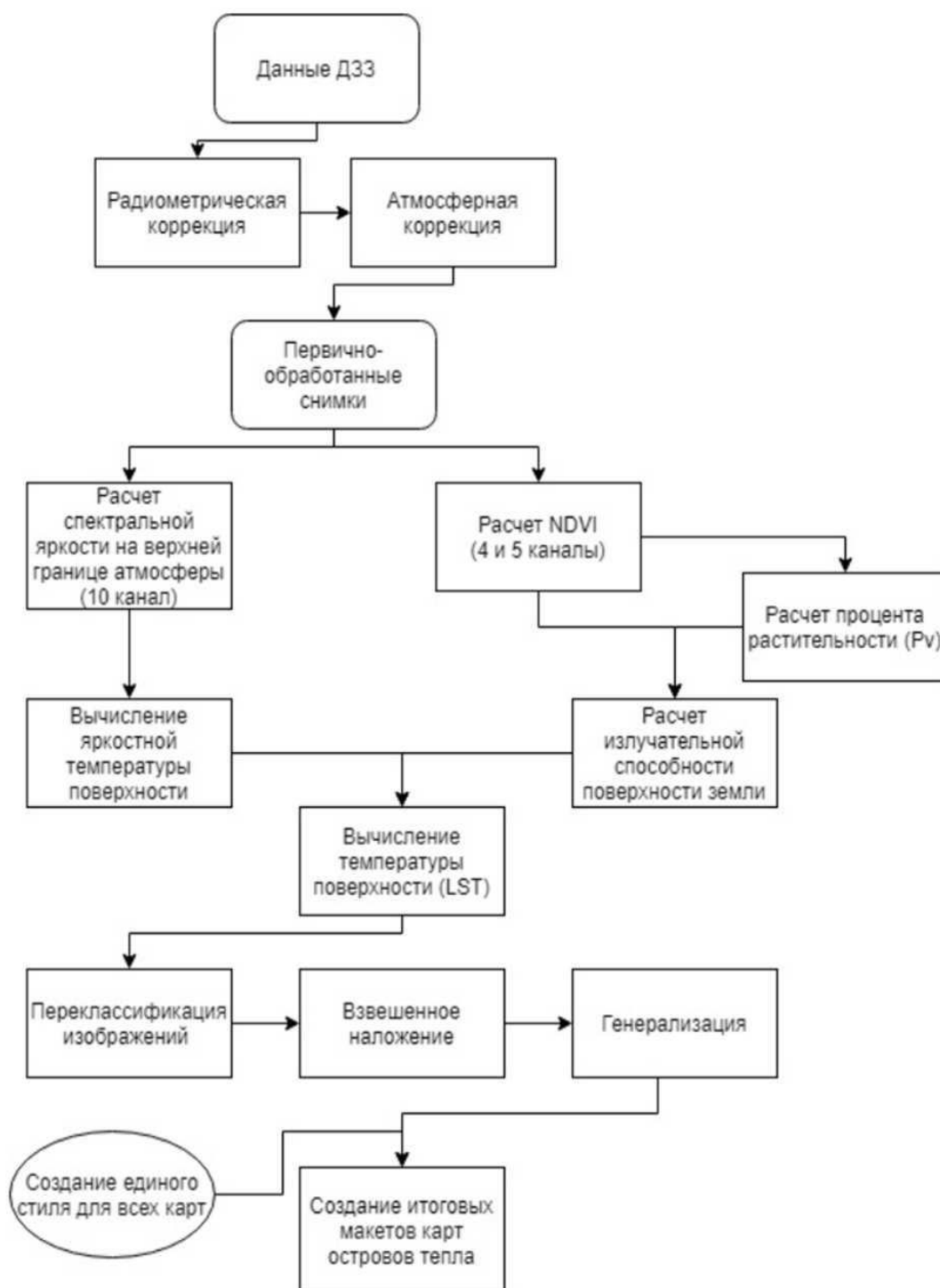


Рисунок 3.8 - Блок-схема методики обработки космических снимков для создания карт островов тепла

Разбиение гистограммы яркостных температур происходило методом естественных интервалов (Natural Breaks), в котором границы классов определяются путем группировки схожих значений и максимально увеличиваются различия между классами. В ходе выделения указанных выше ступеней температур границам классов присваивались ближайшие целочисленные значения.

На следующем этапе из полученных изображений с помощью взвешенного наложения были суммированы разносезонные снимки каждого временного периода. При этом растром были присвоены равные веса. В результате для каждого города была получена пара изображений с 7 градациями температур за 2015 и 2020 года.

Для выделения на каждом изображении островов тепла, растры были конвертированы в векторный формат с помощью инструмента растр в полигоны (raster to polygon). Далее была проведена выборка полигонов с градацией температуры 7 (максимальные температуры) и геометрическая генерализация этих участков.

На последнем этапе на подложку OpenStreetMap были наложены 2 слоя островов тепла за 2020 и 2015 гг., а также разработан общий стиль для всех 5-ти карт.

После выполнения всех этапов обработки была составлена полная методика обработки спутниковых данных для создания карт тепловых аномалий.

### 3.2.2 Результаты проведения исследования

Карта динамики островов тепла Санкт-Петербурга (рисунок 3.9) позволяет проанализировать пространственные особенности распределения тепловых аномалий на территории Санкт-Петербурга (приложение 1).

Рассматривая временной отрезок 2014 - 2015 гг. можно сделать вывод о большом распространении тепловых островов на территории города, но их размещение соответствует промышленным зонам, линиям железных дорог и

основным автодорогам. Повышенные температуры на Юге города характерны для территорий «Кировского завода», судостроительного «Северная верфь», аэропорта «Пулково», а также нескольких ТЭЦ, контейнерного порта, промышленных территорий района Обухово и станции «Предпортовая». На Западе города выделяется участок намывных территорий Васильевского острова и Пассажирского порта, а также район Северо-Приморской части и Старой Деревни. На Севере города выделяются промзоны Парнас и Мартыновка. На протяжении всего временного периода острова тепла характерны для территории Центрального района, Выборгской стороны, в частности, территориям заводов и железнодорожных путей вблизи Финляндского вокзала. Тепловые аномалии также прослеживаются на территориях всех железнодорожных узлов Петербурга (Балтийский, Витебский, Московский и Ладожский вокзалы). «Серая» зона за Обводным каналом выделяется своей повышенной температурой по сравнению с окружающими территориями. Анализируя карту, легко заметить, что тепловые аномалии также тянутся вдоль основных автомагистралей (Московский, Витебский, Стачек и Пискаревский проспекты, КАД). На Севере города острова формируются на перекрестках, что говорит о сильном влиянии автомобильного трафика в тепловой структуре города.

В 2019 - 2020 годах острова тепла заметно прогрессируют на в историческом центре города, в то время как на остальных территориях заметно уменьшаются (приложение 2).

## Заключение

Тепловые аномалии, обусловленные городскими агломерациями, — распространенное явление в современном мире. В городах сосредоточены такие источники антропогенного тепла, как промышленные предприятия, транспорт, объекты, связанные с жилищно-коммунальным хозяйством. Большинство городских объектов состоит из материалов, активно поглощающих солнечную радиацию (асфальт, бетон, гранит и тому подобные плотные материалы), что приводит к накоплению тепловой энергии в пределах города и ее активному излучению в окружающую среду: городские здания и строения сами по себе становятся источниками интенсивного теплового излучения. Кроме того, высотная застройка в городах формирует особый микроклимат — так называемые «городские каньоны» (urban canyons), определяющие направление и скорость ветра, влияющие на температуру и качество воздуха. Еще одним фактором, оказывающим существенное влияние на формирование городских тепловых аномалий, являются крайне небольшие в сравнении с природной средой площади, занимаемые растительным покровом, который оказывает заметное «охлаждающее» воздействие. Солнечная энергия поглощается растениями и в процессе активной транспирации преобразуется в живое вещество, т.е. поглощенная растениями энергия не излучается.

Для описания поверхностного острова тепла и диагностирования тепловых аномалий можно довольно успешно применять спутниковые снимки ASTER/Terra, TM/Landsat-5 и ETM+/Landsat-7 (90, 120 и 60 м соответственно). На них можно проследить внутреннюю структуру подобных аномалий, также четко выявляются объекты, формирующие городской остров тепла.

Город Санкт-Петербург относится к самым северным городам мира. Он обладает специфическими физико-географическими условиями, которые проявляются прежде всего в его положении на северо - западе (59°57' с. ш. 30° 19' в. д.), РФ: в пределах Приневской низменности, в устье реки Невы и на островах Невской дельты.

Высота города над уровнем моря: для центральных районов - 1 - 5 м, периферийных районов (север) - 5 - 30 м, периферийных районов (юг и юго-запад) - 5 - 22 м. Самое высокое место в черте города - район Красного Села (70 - 110 м) с Вороньей горой (176 м).

Высокоширотным положением города объясняется явление белых ночей. В период, близкий ко дню летнего солнцестояния, Солнце в полночь опускается ниже горизонта всего на  $7^\circ$ , поэтому вечерняя заря практически сходится с утренней, и всю ночь делятся гражданские сумерки. Определение белых ночей условно. Считается, что в Петербурге они продолжаются с 11 июня по 2 июля, период очень светлых ночей длится с конца мая до середины июля. Исследование особенностей климата и биоклиматического режима города Санкт — Петербург позволило реализовать цель дипломной работы, выполнив объективную климатическую и биоклиматическую оценку города.

Исследования графиков годового хода температуры воздуха для г. Санкт — Петербурга с 1743 по 2009 гг. позволяют констатировать, что для конца XX века — начала XXI весьма заметен некоторый «разброс» значений месячной температуры для отдельных лет.

Вероятно, данная тенденция может быть объяснена описываемой в науке ситуацией «разбалансировки или нервозности климата» по К.Я. Кондратьеву и ряду других ученых, то есть возможным влиянием природных факторов флуктуации климата и его элементов.

В результате работы сформировались следующие выводы:

1. Контрастность и многообразие рельефа города, (на юго-Западе высоты составляют 176 м, а на севере - около 60 м); близость к Финскому заливу, протекающая в пределах города р. Нева, особенности циркуляции атмосферы, характеризуют климат как переходный от континентального к морскому, с умеренно теплым летом и продолжительной умеренно холодной зимой.

2. За год в Санкт-Петербурге в среднем 62 солнечных дня, следовательно преобладают дни с облачной, пасмурной погодой и рассеянным освещением. Продолжительность дня меняется от 5 часов 51 минуты 22 декабря

до 18 часов 50 минут 22 июня.

3. Средняя годовая температура воздуха на территории колеблется от 2 °С в северо-восточной части до 4,5 °С в южной. Средняя месячная температура зимних месяцев составляет около - 9°С, а летних месяцев 16-17° С. Самая высокая температура, за весь период наблюдений составляла +34,6 °С, а самая низкая -35,9 °С .

4. Наибольшее количество осадков - 825 мм в год, наименьшее - 417 мм. На долю жидких осадков приходится 65% (бывают и зимой), твердых - 19%, смешанных - 16%.

5. До 177 дней в году городу характерна пасмурная погода с общей облачностью 8-10 баллов, до 145 дней в году относительная влажность воздуха составляет не менее 80%.

6. После рассмотрения существующих в настоящее время на территории Санкт-Петербурга климатических условий представляется интересным оценить, насколько они могут измениться в XXI веке — произойдет ли на рассматриваемой территории смена климатической зоны. Отметим, что к настоящему времени как в целом для территории Северо-Запада России, так и для Санкт-Петербурга и прилегающих районов Ленинградской области имеются прогностические оценки изменения температуры приземного воздуха и количества атмосферных осадков в XXI веке. Эти оценки получены в результате специализированных климатических исследований, которые основаны на использовании данных расчетов моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО), рекомендованных для использования Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК).

7. Глобальное потепление способно привести к существенным последствиям для развития градостроительного комплекса Санкт-Петербургской агломерации, в том числе повлиять на ее функционально-планировочную структуру, изменить климатические строительные нормы и условия проектирования и эксплуатации городских объектов и инфраструктуры, увеличить повторяемость опасных гидрометеорологических явлений,

воздействовать на биогеоценозы территории, включая фитоценозы, зооценозы, микробоценозы, эдафотопы.

8. Полученные результаты целесообразно использовать при долгосрочном стратегическом планировании развития Санкт-Петербургской агломерации в XXI веке, особенно в его второй половине. Поиск существующих и будущих пространственных аналогий Санкт-Петербурга следует определять с учетом климатического районирования.

9. Анализ смещения границ климатических зон при развитии глобального потепления в дополнение к прогностическим рядам метеорологических элементов, получаемым по результатам расчетов МОЦАО, позволяет в обобщенном виде оценивать масштаб происходящих климатических изменений.

10. В результате выполнения исследования в рамках выпускной квалификационной работы был получен ряд электронных карт, которые показывают основные тепловые острова на территории городов для каждого периода. Они позволяют проследить изменения тепловой структуры городов в течение 6 лет с 2014 по 2020 гг. Была формализована методика обработки спутниковых данных для получения карт динамики городских островов тепла.

Результаты работы могут быть применимы и для комплексной оценки условий комфортного проживания человека и повышения качества жизни населения крупных городов России.



## Список использованной литературы

1. Андреев, С.С. Экологические проблемы мегаполисов / С.С. Андреев // Тез. докл. конф. 200 летия Казанского гос. ун-та. – Казань: Изд. Казанского гос.Ун-та, 2019. – 18 с
2. Балдина, Е.А., Константинов, П.И., Грищенко, М.Ю., Варенцов, М.И. Исследование городских островов тепла с помощью данных дистанционного зондирования в инфракрасном тепловом диапазоне // Земля из космоса — наиболее эффективные решения. 2015. Специальный выпуск. С. 38-42.
3. Белова, Л.Н., Булдаков, Г.Н. Санкт-Петербург, Петроград, Ленинград. —Науч. изд-во «Большая российская энциклопедия», 2018. — 687 с.
4. Блинов, Л.Н. Воздух, которым мы дышим // Тысяча вопросов и ответов / Л.Н. Блинов. – Спб., 2016. – Вып.1. – С. 12-13.
5. Воробьева, О.С., Романова, Н.И. Некоторые проблемы нормирования вредных выбросов и сокращения загрязнения атмосферы // Межвузовский сборник / О.С. Воробьева, Н.И. Романова. – Петрозаводск, 2016. – С.79-84
6. Головина, Е.Г., Русанов, В.И. Некоторые вопросы биометеорологии / Е.Г. Головина, В.И. Русанов. – СПб., 2019. – 88 с
7. Гурьянов, Д. А. Статистический анализ продолжительности сезонов года в Санкт-Петербурге // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. 2013. №163. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/statisticheskii-analiz-prodolzhitelnosti-sezonov-goda-v-sankt-peterburge> (дата обращения: 16.01.2021).
8. Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета). – Санкт-Петербург; Саратов : Амирит,2020. –120 с.
9. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2018 году/ Под редакцией И.А. Серебрицкого – СПб.: ООО «Сезам-принт», 2019. — 660 с.
10. Дроздов, О.А., Васильев, В.А., Кобышева, Н.В., Раевский, А.Н.,

Смекалова, Л.К., Школьный, Е.П. Климатология. учеб. Л.: Гидрометеиздат, 2016. - 568 с.

11. Закон Санкт-Петербурга от 16.02.2011 № 44-20 (с изменениями на 25.12.2015) «О зеленых насаждениях в Санкт-Петербурге»

12. Израэль, Ю.А., Груза, Г.В., Катцов, В.М., Мелешко, В.П. Изменения глобального климата. Роль антропогенных воздействий // Метеорология и гидрология. – 2021. – № 5. – С. 5–21.

13. Касимов, Н.С., Никифорова, Е.М. Геохимия городов и городских ландшафтов // Экология города / Под ред. А.С. Курбатовой и др. — М.: Научный мир, 2015. - С. 234–268

14. Кислов, А. В. Климатология : учеб. / А. В. Кислов, Г. В. Суркова. — 4-е изд., испр. и доп. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 324 с.

15. Куликова, Л.А., Еремина, А.В. Режим осадков в Санкт-Петербурге при разных формах циркуляции. Ученые записки РГГМУ № 54. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.rshu.ru/university/notes/archive/issue54/maket-54-el-28-37.pdf> (дата обращения 12.02.2021)

16. Ландсберг, Г.Е. Климат города / Г. Е. Ландсберг; Перевод с англ. под ред. А. С. Дубова. - Л. : Гидрометеиздат, 2017. - 248 с

17. Лапина, С. Н. Характеристика континентальности климата Саратова и Санкт-Петербурга на фоне глобального потепления // Изв. Сарат. ун-та Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2017. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/harakteristika-kontinentalnosti-klimata-saratova-i-sankt-peterburga-na-fone-globalnogo-potepleniya> (дата обращения: 16.02.2021).

18. Эколого-климатические характеристики атмосферы Москвы в 2018 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М. В. Ломоносова / М. А. Локощенко и др. / под ред. М. А. Локощенко. - Москва: МАКС Пресс, 2019. – 278 с.

19. Лосев, А. П. Агриметеорология [Текст] : учеб. для студентов вузов / А. П. Лосев, Л.Л. Журина. - М. : Колосс, 2016. - 301 с.

20. Оке, Т. Р. Климаты пограничного слоя – Л.: Гидрометеиздат, 2017.

– 359с.

21. Официальный информационный сайт Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://meteoinfo.ru/> (дата обращения 12.03.2021)

22. Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга Электронный ресурс. Режим доступа: <http://gov.spb.ru/> (дата обращения 13.03.201)

23. Официальный сайт ПО QGIS Электронный ресурс. Режим доступа: <http://qgis.org/ru/site>. (дата обращения 13.05.2016)

24. Официальный сайт ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=2> (дата обращения: 16.02.2021).

25. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт – Петербурге в 2018 г. / Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. – Спб., 2019. – 512 с.

26. Павловский, А.А., Менжулин, Г.В. Перспективные оценки изменения природноклиматических условий на территории Санкт-Петербурга в XXI веке. Ученые записки РГГМУ № 51 Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.rshu.ru/university/notes/archive/issue51/UZ-51el-44-57.pdf> (дата обращения 12.02.2021)

27. Павловский, А. А., Менжулин, Г. В. Современные изменения климатических норм и обеспечение устойчивого развития Санкт-Петербурга как крупнейшего мегаполиса Северной Европы // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2013. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-izmeneniya-klimaticheskikh-norm-i-obespechenie-ustoychivogo-razvitiya-sankt-peterburga-kak-krupneyshego-megapolisa> (дата обращения: 16.02.2021).

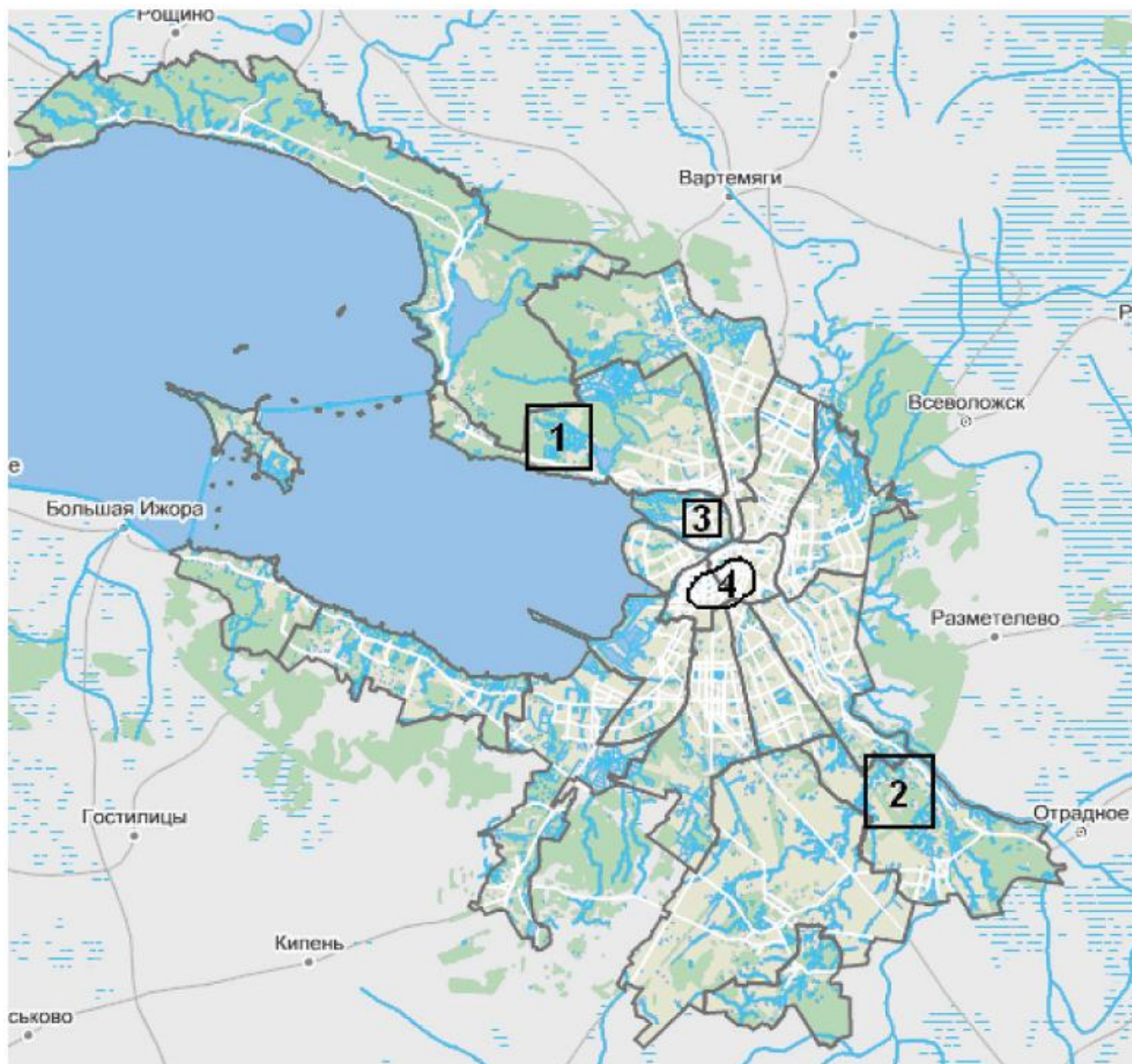
28. Пиловец, Г. И. Метеорология и климатология: учеб. пособие / Г.И. Пиловец. - Москва : НИЦ Инфра-М; Минск : Нов. знание, 2018. - 399 с

29. Погодный сайт с базами данных погоды по годам. Электронный ресурс. Режим доступа: [gr5.ru](http://gr5.ru) (дата обращения 12.02.2021)

30. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов».
31. СП 131.13330.2012. Свод правил. Строительная климатология. Актуализированная (редакция СНиП 23-01-99)
32. Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха»
33. Хромов С. П., Петросянц, М. А. Метеорология и Климатология учеб. для университетов. М., МГУ, 2020. — 528 с.
34. Ясин, Т., Берт, Б. Феномен городского острова тепла. Здание высоких технологий. Интернет-издание. – 2015. Электронный ресурс. Режим доступа: [http://zvt.abok.ru/articles/240/Fenomen\\_gorodskogo\\_ostrova\\_tepla](http://zvt.abok.ru/articles/240/Fenomen_gorodskogo_ostrova_tepla) (дата обращения 12.02.2021)
35. Ana-Maria Branea, Marius Stelian Gaman, Mihai-Ionut Danciu, Stefana Badescu. Challenges regarding the study of urban heat islands. Ruleset for researchers // Risk Reduction for Resilient Cities. – 2016.
36. Atwater M. A. Thermal changes induced by urbanization and pollution.— J. Appl. Meteorol., 1975. – p. 1061 – 1071
37. DMSP F19 military weather satellite declared lost after communications failure [Электронный ресурс] // Spaceflight101.com. 2016. URL: <http://spaceflight101.com/re-entry/dmsp-f19-military-weather-satellite-declaredlost-after-communications-failure/>. (дата обращения 13.05.2016)
38. Duckworth F. S., Sandberg J. S. The effect of cities upon horizontal and vertical temperature gradients. – Bull. Am. Meteorol. Soc., 1954. – p
39. Fukui E. The recent rise of temperature in Japan. – Jpn. Progr. Climatol. Tokyo, 1970. – P.46 – 65
40. Golany G. Urban design morphology and thermal performance. Atmos Environ, 1996; P. 30.
41. Mitchell J. M. Jr. The thermal climate of cities. – Sump. Air over Cities, U. S. Public Health Serv. Publ. SEC. Tech. Rept.,1961. – p. 131 – 143

## Приложение 1

Схема расположения исследуемых микроклиматических участков на территории Санкт-Петербурга



1 – Конная Лахта, 2 – Металлострой; 3 – метеостанция С-Петербург;  
4 – ядро городского острова тепла.

## Приложение 2

### Карта динамики островов тепла Санкт-Петербурга.

