



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему «Особенности изменчивости динамического режима атмосферы в  
районе Санкт-Петербурга»

Исполнитель Попкова Полина Юрьевна  
(фамилия, имя, отчество)

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

Головина Елена Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

Кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Абанников Виктор Николаевич

(фамилия, имя, отчество)

«23.06» 2019.

Санкт-Петербург

2019

## Оглавление

Введение .....	3
1. Особенность циркуляции атмосферы Северо-Западного региона России .....	5
2. Особенность циркуляции атмосферы в районе Санкт-Петербурге .....	8
2.1 Физическая география .....	8
2.2. Повторяемость барических образований в данном районе .....	13
2.2.1. Барические образования .....	14
2.2.2. Циклон .....	14
2.2.3. Антициклон .....	15
2.2.4. Повторяемость барических образований по сезонам .....	15
2.3. Изменчивость характеристик ветра .....	23
3. Влияние города на скорость ветра .....	33
3.1. Антропогенное изменение ветрового режима атмосферы .....	33
3.2 Результаты исследований .....	40
3.2.1 Анализ данных на станции Воейково .....	41
3.2.2. Анализ данных со станции ИЦП.....	42
3.2.3. Анализ данных на станции Пулково.....	43
3.2.4. Сравнение направления ветра у земли и на высоте 850 гПа .....	45
Заключение.....	47
Список использованной литературы .....	49

## Введение

Процессы, которые образуют погоду рассматриваемого региона, представляют из себя систему, которая подвергается различным влияниям циркуляции атмосферы, как с соседних регионов, так и с различных высот.

Длительные отклонения погоды характеризуются обменом воздушных масс в данный момент времени.

Изучение циркуляции атмосферы одно из самых тяжелых и важных проблем метеорологии.

Без знания законов циркуляции атмосферы невозможно разработать методы прогноза погоды на более длительный срок (сезон или месяц).

Существует три подхода для изучения циркуляции атмосферы:

1. Теоретический. Это разработка теоретических моделей циркуляции атмосферы.

2. Климатологический. Этот подход связан с использованием сезонных карт ветра и средних месячных карт.

3. Синоптический. Для данного подхода используются ежедневные карты погоды, с которых можно узнать эволюцию и перемещение воздушных масс, фронтов, антициклонов и циклонов, для определения вида циркуляции.

Цель данной работы заключается в произведении анализа данных метеорологической характеристики, изменчивости направления и скорости ветра в северо-западном регионе. Исследование данных было произведено за 2018 год на станциях Воейково, Информационный центр погоды и аэропорт Пулково.

Актуальность данной работы заключается в том, что с движением воздуха связана смена погоды. Массы воздуха, перемещающиеся по всей планете, могут переносить различную температуру, облачность и влажность.

В первой главе рассматривается общая циркуляция атмосферы северо-западного региона России.

Во второй главе подробнее рассказывается об одном из районов северо-западного региона городе Санкт-Петербург.

Третья глава содержит подробный анализ метеорологической характеристики, сравнение направления и скорости ветра в городе и окрестностях Санкт-Петербурга.

В заключении сделаны выводы по ветровому режиму Санкт-Петербурга и Ленинградской области, были выявлены повторяемости направлений ветров, преобладающие над городом. Также был сравнительный анализ ветров в городе и его окрестностях.

Результаты работы можно использовать для мониторинга климатических условий в Санкт-Петербурге и ЛО. Все актуальнее становится использование ветровой энергии для ее преобразования в электрическую энергию.

## 1. Особенности циркуляции атмосферы Северо-Западного региона России

Циркуляция атмосферы очень влияет на климат. Так как Земля вращается, то циркуляция атмосферы была бы проще. Благодаря вращению Земли в атмосфере образуются основные пояса ветров. В северном полушарии ветра, которые устремляются на юг, вращение Земли отклоняет их к западу, а направленные на север к востоку.

На Северо-западе России такое влияние выражается очень заметно, так как географическое положение этому сопутствует и данный регион находится в зоне частой смены воздушных масс, отличие составляет только в различных местоположениях формирования, влажности и температуры.

Процессы циркуляции можно разделить на меридиональные и зональные.

В Северо-Западном регионе можно сказать, что преобладают зональные процессы, то есть перенос происходит с запада на восток. Арктические вторжения, которые относятся к меридиональному переносу, чаще всего приходится на лето, а зимой таких переносов намного меньше.

Таким образом, в течение года из Исландии в район Баренцева моря двигаются циклоны. В холодное время года вхождение влажного и теплого воздуха сопровождается потеплением, выпадением снега, а летом, когда с запада направлен холодный воздух, происходит понижение температуры, облачность увеличивается, и выпадают обильные осадки, в виде дождя.

Иногда, в западный перенос воздушных масс вторгается арктический воздух. Арктические вторжения на регион Северо-запада могут разделяться на два направления: на юго-запад с Карского моря и

от севера Скандинавии в направлении юго-востока. В двух случаях, на Северо-запад поступает холодный арктический воздух, но этот воздух имеет разные физические свойства.

Арктический воздух, направленный с северо-востока, формируется над льдами и именно поэтому он, намного холоднее и суше по сравнению с воздухом, поступающим с северо-запада, который проходит над относительно теплыми водами океана. Арктическое вторжение обычно происходит летом, но самые сильные низкие температуры наблюдаются зимой, особенно в конце данного периода. При арктическом вторжении, для зимы характерна морозная погода, а летом немного прохладная. При углублении арктического воздуха внутрь континента, он прогревается и преобразуется в континентальный.

Также возникает проникновение умеренно-континентального воздуха, летом с юго-востока, а зимой с востока. Этот воздух очень сухой, но зимой он очень холодный, а летом теплый. Не часто, но летом на регион Северо-запада проникает очень влажный и теплый морской субтропический воздух. Этот воздух несет с собой обильные дожди, но как правило, они недолгие и сразу же может наступить ясная и теплая погода, а иногда и жаркая.

Массы тепла, которые поступают с атлантическим воздухом, и влияние Гольфстрима, показывают для этого региона характерную положительную аномалию температуры. Влияние Атлантического океана ослабевает с запада на восток, также возрастает климат континента (разность среднемесячных температур самого теплого и самого холодного месяца за год).

Северо-западный регион находится под влиянием переноса воздушных масс и циклонов с запада, приходящих с Атлантического

океана, и поэтому выпадает большое количество осадков. На большей территории рассматриваемого региона, примерно к югу от 65-й параллели, суммы осадков за год превышают 400 мм. Севернее 65-й параллели годовая сумма осадков составляет меньше 400 мм, а на побережье Баренцева моря — меньше 300 мм. 150-200 дней в году в данном регионе преобладают дожди и снегопады.

На климат Северо-западного региона РФ большое влияние оказывают атлантические, континентальные и арктические массы воздуха. Однако, все сезоны года здесь преобладают воздушные массы умеренных широт.

Иногда на территорию Северо-запада заходят циклоны с Атлантического океана. Они приносят довольно большое количество влаги на протяжении всего года. С этим параметром можно связать и большую облачность, которая защищает поверхность земли от сильного выхолаживания зимой и иссушения летом.

Географическое положение и циркуляцию атмосферы определяют климат Северо-запада с умеренно теплым летом, с продолжительной холодной зимой и неустойчивым режимом погоды. Осадков выпадает от 650 до 750 мм. Больше половины осадков (450-500 мм) приходится на теплый период года (апрель - ноябрь). Самые дождливые месяцы - июнь, июль, август и сентябрь, когда каждый месяц выпадает до 120 мм осадков. В регионе преобладают юго-западные, западные и южные ветры. Но также можно наблюдать ветра северо-восточные, северные и восточные.



положением рассматриваемого региона и атмосферной циркуляции, которая характерна для Ленинградской области. Это детерминируется небольшим количеством поступающего на поверхность земли и в атмосферу солнечного тепла.

Из-за такого небольшого количества солнечного тепла влага испаряется медленно. Общий приток тепла в этом регионе в 1,5 раза меньше, чем на юге Украины, и в 2 раза меньше, чем в Азии. За весь год в Санкт-Петербурге наблюдается в среднем 60 солнечных дней. Поэтому, на протяжении большей части года преобладают дни с облачной, пасмурной погодой, рассеянным освещением.

Для Санкт-Петербурга отличительно чертой является частая смена воздушных масс, которая проявляется, как циклоническая активность.

Метеостанции Петербурга позволяют использовать данные с 1722 года. Самая высокая температура, которая была в Санкт-Петербурге за все периоды наблюдений, +37,1 °С, а самая низкая –35,9 °С.

Погода в Санкт-Петербурге очень непредсказуема. Именно такому особому географическому положению города, климат в данном регионе немного необычный и своеобразный, и спрогнозировать погоду для Санкт-Петербурга на день затруднительно: в течение всего дня погода может поменяться кардинальным образом несколько раз

Посмотрев на прогноз, можно с определенной степенью вероятности определить, когда начнется или закончится дождь. Но всегда нужно подразумевать, что это всего лишь вероятность и бывает, что прогноз может быть ошибочен, но существует математическая модель прогноза, которая улучшает прогнозирование и качество прогноза улучшается.

Более точный прогноз можно определить на два, три дня. Долгосрочный прогноз-это только вероятность изменения климатического показателя.

Поэтому необходимо следить за изменением прогноза погоды. Тем более в таком городе, как Санкт-Петербург.

Территория Санкт-Петербурга составляет 606 км<sup>2</sup>. Пригородная зона общей площадью 15000 км<sup>2</sup>. В Санкт-Петербурге и его окрестностях проживает более 5 миллионов человек.

В Санкт-Петербурге можно выделить три района: северный (правобережный), южный (левобережный) и дельтовый.

Правобережный район – более возвышенная часть города – стоит отметить обилие зелени, озёр, прудов, общей живописностью ландшафта. Менее благоприятна для освоения восточная часть побережья, где встречаются площади земли, обогащенные торфом.

В левом берегу преобладает плоская однообразная равнина, продолжающаяся на юг до Пулковских высот. Здесь мало водотоков и на незастроенных площадях почти не присутствует зелень. Исключением может быть лишь некоторые участки уступа приморской террасы в зоне южного побережья Финского залива.

Острова дельты – район старого освоения, на большей части площади уже застроены или заняты парками. Неосвоенные здесь только заболоченные участки низин. Районы дельты, широко раскрытые в сторону моря и водных пространств Невы, отличаются большой и красивой живописностью. Первоначально центром города должен был стать Васильевский остров. Однако возросшая роль Адмиралтейства как промышленного центра, а также отсутствие мостов через Неву и трудность доставки строительных материалов на Васильевский остров обусловили преимущественно развитие города на левом берегу Невы.

Большая территория города была покрыта лесами и болотами. Ныне лесная растительность сохранилась лишь в лесопарках районов новой застройки и в пригородной зоне.

Современный рельеф города и его окрестностей формировался на протяжении нескольких геологических эпох. Главные элементы рельефа сложились ещё в дочетвертичный период и в дальнейшем подвергались действию ледников, ледниковых вод, обширных озёрных и морских бассейнов. Уровни этих бассейнов часто менялись под влиянием колебаний суши в зоне балтийского щита. Результатом такой деятельности водоёмов является система расположенных на разных уровнях террас, уступов и древних береговых валов. Очень заметно выражены эти образования на территории города. Хорошо видно уступ самой молодой и низкой приморской террасы. Дугообразная линия этого уступа идёт на севере от Коломяг к парку Лесотехнической академии им. С.М.Кирова и далее на левобережье Невы, затем на Автово и вдоль южного берега Невской губы до южных границ города. На левобережье Невы этот уступ приподнят над уровнем моря лишь на 3...4 м, но это чрезвычайно важный природный рубеж, так как его гребень служит восточной границей затопления города при наиболее грозных нагонных наводнениях.

Большая часть территории Санкт-Петербурга расположена на высотах, которая не превышает 2...4 м над уровнем моря.

Окрестности Санкт-Петербурга представляют собой ступенчатую равнину, высота которой в большинстве случаев не превышает 50...110 м над уровнем моря. В пределы описываемой территории, несмотря на сравнительно небольшую площадь, входит несколько ландшафтных районов, среди которых можно выделить побережье Финского залива, Ордовикское (Ижорское) плато, Приневскую низину, моренный холмистый (камовый) район.

Благодаря расчленённости рельефа почвенный покров района отличается большим разнообразием. По различиям особенностей геологического сложения больших массивов, их рельефа, гидрологических параметров и растительности в окрестностях Санкт-Петербурга выделено 11 почвенных районов, в которых неодинаково распределены типы почв, различны характер и степень освоенности земель. Преобладающими почвами здесь являются подзолистые почвы.

Широко распространены в окрестностях Санкт-Петербурга заболоченные и болотные почвы. В целом они составляют не менее одной трети всего почвенного покрова зоны. В момент основания города топкие, непролазные болота занимали почти всю его площадь. Под застройку нередко осваивали участки с заболоченными, а подчас и богатыми торфом грунтами и плавунами.

Значительную роль в жизни города играет река Нева. Она влияет на формирование климатических особенностей района Санкт-Петербурга и на хозяйственную деятельность в пределах города.

Из-за большого количества вод, Санкт-Петербургу принадлежит одно из первых мест в мире: вода занимает 10% площади города (включая прибрежную зону Финского залива), в пределах Санкт-Петербурга насчитывается 86 рек и каналов протяжённостью около 300 км.

Нева – глубокая и широкая река, судоходная на всём протяжении. Преобладающая глубина реки 8...12 м, максимальная глубина 24 м у Литейного моста. В дельте ширина Невы достигает 900...1250 м. Скорость течения реки от 0,8 м/с до 3 м/с. Река Нева имеет большую площадь водосбора – 281 тыс. км<sup>2</sup> при малой длине (74 км).

## 2.2. Повторяемость барических образований в данном районе

Причиной возникновения горизонтальных градиентов давления в атмосфере, а вследствие, и воздушных течений, является неравномерное нагревание воздуха. При этом теплые и холодные воздушные массы могут, как и приближаться, так и отдаляться друг от друга.

Различные воздушные массы, которые сближаются, увеличивают физические свойства метеорологических характеристик. При удалении друг от друга, свойства уменьшаются.

Территории, где происходит сближение различных воздушных масс, называют фронтальными зонами.

В этих зонах, как правило, холодные воздушные массы стремятся на путь теплых воздушных масс и, наоборот, теплые стремятся занять место холодных. Из-за больших контрастов температур и больших сил ветра образуются огромные запасы энергии. Эта энергия и расходуется на образование барических полей.

От направления движения фронтальной поверхности зависит, какой атмосферный фронт находится над регионом. Различают холодный и теплый фронты.

Холодный фронт, называется так, как холодный воздух движется быстрее теплого и перемещается в сторону больших температур. Погода, после прохождения этого фронта – ухудшается.

Когда воздух, движется в сторону низких температур, атмосферный фронт называется теплым и наступает потепление.

Также существуют и другие разновидности фронтов, которые образуются, вследствие, сложения двух основных фронтов. Это сложения происходит, из-за разности скоростей. При различных скоростях, через какое-то время теплый фронт догоняет холодный и, образуется фронт окклюзии.

Тем временем, в момент сложения этих основных фронтов наблюдаются сильные обложные осадки. Но, фронт окклюзии со временем ослабевает и облака рассеиваются, это связано с тем, что воздух поднимается и охлаждается, так как холодный воздух тяжелее теплого и вытесняет его наверх.

#### 2.2.1. Барические образования

Давление воздуха распределяется внутри атмосферы с помощью изобарических поверхностей.

К возникновению струйных течений приводит движение воздушных масс. Так как на высоте сила трения не учитывается, то скорость таких течений может достигать от 300 до 700 км/ч.

Циклоны и антициклоны возникают у поверхности Земли в зонах сходимости (конвергенции) и расходимости (дивергенции).

#### 2.2.2. Циклон

Циклон – это область с низким давлением, движение воздушных масс происходит от периферии к центру. Движение в северном полушарии происходит против часовой стрелки, а в южном полушарии, наоборот, по часовой стрелке.

Существование циклонов происходит в течение 6-8 дней, а иногда и две недели. Также циклоны имеют свойство усиливаться.

Система фронтов (холодного, теплого и окклюзии) связана с циклонами. Прохождение фронтов приносит с собой большое количество облачности, сильный ветер, обильные осадки и перепады давления.

Летом, как правило, циклоны сопровождаются дождливой и прохладной погодой, а зимой, все зависит, в какой части циклона находится город, если же город находится в тыловой части, то будет

похолодание, а потепление будет тогда, когда город расположен в передней части циклона.

У циклона есть три стадии развития.

1. Начальная стадия.

2. Молодой циклон. Сопровождается наличием холодного и теплого фронтов.

3. Стадия заполнения. В этой стадии циклон достигает максимального развития. Также сопровождается циклон продолжительными осадками.

### 2.2.3. Антициклон

Барическое образование с повышенным давлением, движение которого происходит от центра к периферии, называется антициклон.

Малооблачная, почти безветренная в центре и более сильными на периферии ветрами, именно так характеризуется антициклон.

Летом погода жаркая, а зимой очень холодная. Также в антициклоне может наблюдать туманы.

Также как и в циклоне, антициклон имеет три стадии.

1. Начальная стадия.

2. Максимальная стадия.

3. Стадия разрушения.

### 2.2.4. Повторяемость барических образований по сезонам

Для Санкт-Петербурга, который находится на северо-западе России, основными процессами циркуляции является перемещение, возникновение и эволюция крупномасштабных вихрей, таких как циклон и антициклон. Воздушные массы, которые перемещаются на Санкт-Петербург, формируются над различными районами и с разными

метеорологическими характеристиками. Сильные ветра, различные облака и осадки, и другие погодные условия наблюдаются в атмосферных фронтах.

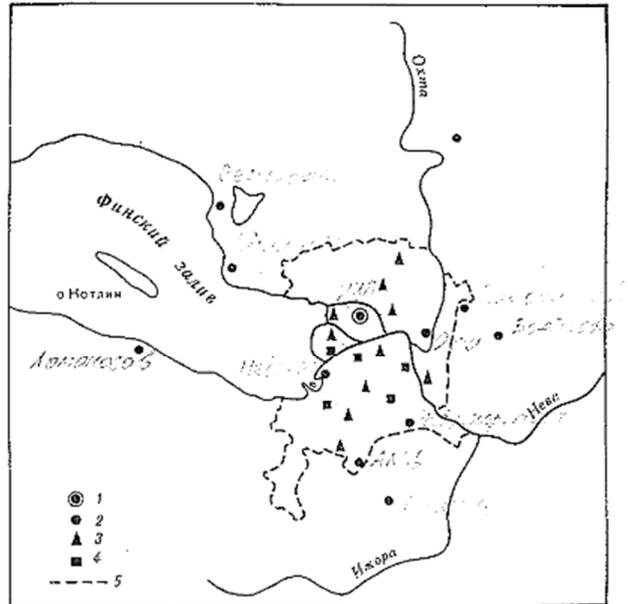


Рис. 40. Схема микроклиматической сети в Ленинграде.  
1 — опорный пункт наблюдений (ЗиП), 2 — метеостанции, 3 — эпизодические посты, 4 — посты контроля за загрязнением атмосферы, 5 — границы города.

На Санкт-Петербург влияют такие центры действия атмосферы как: Исландский минимум, Азорский максимум давления и Арктический максимум давления. Динамический режим Санкт-Петербурга зависит от общей циркуляции атмосферы и связан с распределением барических центров, которые располагаются возле региона.

Скорость ветра и направление можно определить по интенсивности циркуляции.

Влияние орографии играет большую роль в изменении направления ветра. Например, скорость ветра будет минимальной там, где большое количество растительности (лес), при приближении к большим водоемам, скорость ветра будет увеличиваться.

Воздушные массы атлантического происхождения играют значительную роль для района Санкт-Петербурга, эти воздушные массы и определяют морской климат данного района. В холодное время года

процессы циклогенеза усиливаются, а в теплое время года, ослабевают. Активность циклогенеза и постоянная смена воздушных масс показывают, что режим погоды неустойчивый на протяжении всех сезонов.

В течение всего года в Санкт-Петербурге наблюдается преобладание циклонической циркуляции. Стоит отметить, что в Москве, расположенной на расстоянии 634 километров в направлении юго-востока от Санкт-Петербурга, преобладает антициклоническая циркуляция на протяжении всего года, которая характеризует континентальный климат.

В основном, циклоны, которые преобладают над Санкт-Петербургом, имеют западное направление. А антициклоны, в большинстве случаев, могут иметь направление с запада, северо-запада, но возможно и внедрение и с другого направления.

Как правило, зимой циклонов в районе Санкт-Петербурга больше и повторяемость атмосферных фронтов, проходящих через данный район, увеличивается. Летом же число фронтов уменьшается, но выделяют большое повторение вторичных холодных фронтов.

Зима один из двух основных сезонов (вторым является лето) и длится в среднем 3,5 месяца.

В этом сезоне атмосферная циркуляция играет большую роль и влияет на зональный перенос теплого и влажного воздуха с Атлантического океана. Зимой в Санкт-Петербурге преобладает ветреная, пасмурная погода, с хорошо выраженными осадками, так же арктический воздух приносит большое количество облачности. Повторяемость пасмурной погоды составляет 80%.

Так как существуют различные особенности циркуляции, то зимы в Санкт-Петербурге могут быть как экстремально теплыми, так и

экстремально холодными. Меридиональная циркуляция преобладает в холодных зимах, для этой циркуляции характерны благоприятные условия для проникновения арктического воздуха (с северной четверти). Для теплой зимы, в основном, происходит западный перенос, когда в Санкт-Петербург могут поступать воздушные массы с Черного, Средиземного и Атлантического морей.

Прохождение хорошо выраженных атмосферных фронтов всегда сопровождается сильными ветрами, а теплый сезон присутствуют грозы.

Можно сделать вывод, что преобладающие переносы с западных направлений могут поступать воздушные массы и с других направлений. Таким образом, в Санкт-Петербурге может происходить смена воздушных масс континентального, морского и арктического происхождения в течение всего года.

В зимние месяцы, имеют место воздушные массы, направленные с запада и юга, большую повторяемость (примерно 60%) имеет умеренно теплая, влажная погода, температуры которой меняются от 0° до -6°С.

При вторжении воздушных масс с Арктики устанавливается очень холодная сухая погода, температуры воздуха которой составляют -17°, -23°С, но повторяемость такой погоды небольшая (около 5%).

Теплые сектора средиземноморских, а также атлантических циклонов в Санкт-Петербург доставляют влажный теплый воздух, с температурой от 4° до 6°С, повторяемость составляет 10%. Именно такой воздух вызывает выпадение значительных осадков.

Лето в Санкт-Петербурге длится от начала июня до середины сентября и является умеренно теплым.

Скорость ветра летом является наименьшей за весь год в центре города (2,5...2,8 м/с), со старой застройкой, и на окраине города

скорость ветра составляет (4...4,5 м/с), где новые застройки и побережье Финского залива.

Летом западные ветра приносят в регион Санкт-Петербурга влажные массы с температурой около 12°..20°C. Сухая жаркая погода с температурой 27°C ... 30°C связана с вторжением юго-восточных воздушных масс, прогревающимися над континентом; повторяемость таких условий составляет 13% .

Холодная погода с температурой 4°C ... 10 °C в летний период наблюдается при перемещении с северо-западного направления циклонов через район Санкт-Петербурга, на юг проникают арктические массы, которые находятся в тыловой части циклонов. Повторяемость данных процессов небольшая.

Переходные сезоны характеризуются различными погодными условиями.

Так как в Санкт-Петербурге наблюдается частая смена воздушных масс разного происхождения, могут появляться большие отклонения температуры воздуха от многолетних норм. Периоды с такими отклонениями, могут происходить несколько дней, а бывает, что и недель, получили название волны тепла и холода. Метеорологи Санкт-Петербурга исследовали повторяемость таких волн за период 80 лет (1881— 1960 гг.). При этом в январе волной холода или тепла считался период, когда среднесуточная температура отклонялась от нормы более чем на 10°C, в октябре и апреле — более чем на 7°C, а в июле — на 3°C и более. В период самого холодного января волны тепла малой длительности наблюдались лишь в начале и в конце января. В теплый период января волны тепла (оттепели) наблюдались в течение всего января, но часто наблюдались во вторую половину. В январях, близких

к норме, волны холода наблюдаются в основном в первой половине месяца.

Волны тепла в зимний период, как правило, определяются западным переносом воздуха с Атлантического океана. Например, в 1975 году средняя температура воздуха в Санкт-Петербурге в теплом январе оказалась на 8°C выше нормы.

Исключительно мощная волна холода, как по продолжительности, так и по величине отклонения температуры от нормы, вызвана интенсивным притоком арктических масс, оказалась на Санкт-Петербург в 1978 году. В течение 141 часа удерживалась температура ниже -20°C, что в три раза перешло отмеченную ранее максимальную продолжительность для декабря периода с температурой ниже -20°C.

В холодных июлях можно отметить очень редкие волны тепла и также можно отметить значительную повторяемость в течение всего месяца волн холода. В теплый период июля наблюдать волны холода можно реже в течение всего месяца, а волны тепла имеют большую повторяемость на протяжении всего июля. Также можно увидеть чередование волн холода и тепла, но в июле, в котором наблюдается одинаковая температура. Продолжительность таких чередований, как правило, два-четыре дня.

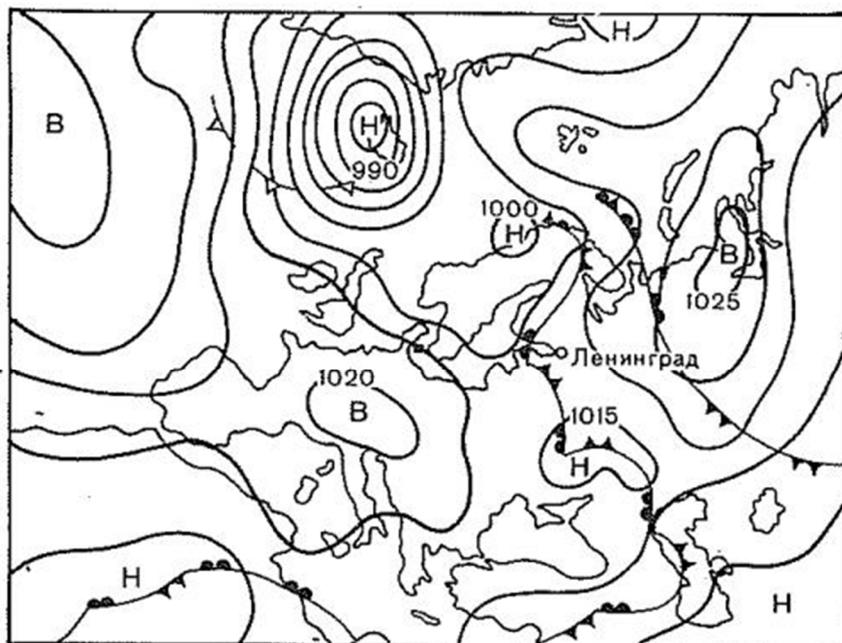


Рис. 22. Карта погоды за 3 ч 8 июля 1972 г. (жаркое лето).

Волны тепла летом можно увидеть в том случае, когда на Санкт-Петербург поступают теплые и сухие воздушные массы с юго-востока. Именно такие процессы наблюдались жарким летом 1972 г. На рис. 22 показана схема процесса 8 июля 1972 г., когда была отмечена самая высокая температура воздуха, которая составляла 34°С в Санкт-Петербурге за весь многолетний период наблюдений.

Особенности ветрового режима Санкт-Петербурга определяют два фактора: наличие «острова тепла» и параметр шероховатости.

Из-за наличия «острова тепла» в Санкт-Петербурге в пограничном слое наблюдается неустойчивая стратификация. Тепловое влияние города приводит к тому, что в городе происходит усиление скорости ветра по отношению к его окрестностям.

Отличие в распределении ветра в городе и в окрестностях определяются как влиянием шероховатости, так и стратификацией. Параметр шероховатости, в большинстве случаев, влияет больше, но

иногда, как параметр шероховатости, так и стратификация, приводят к тому, что различия в окрестностях и в городе практически отсутствуют.

Различие в метеорологических условиях между окрестностями и городом, а также и между большими районами города практически не похоже. Поэтому рассматриваются особенности распределения метеорологических величин по погодным условиям и по сезонам.

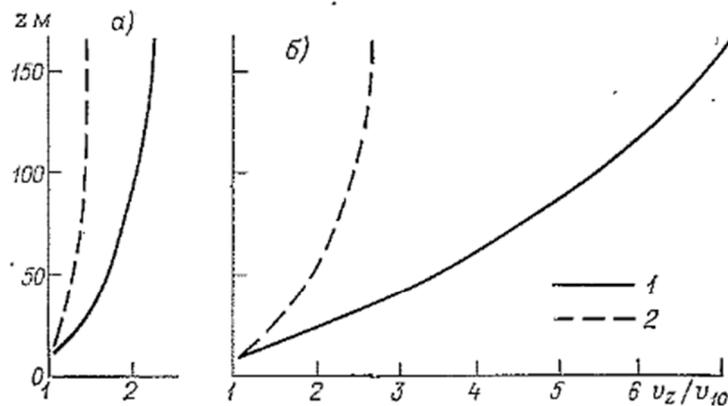


Рис. 38. Ветровые коэффициенты по одновременным наблюдениям в городе (1) и вне города (2).  
 а — при неустойчивой стратификации ( $\mu_{\Delta T} = 116$ ), б — при устойчивой стратификации ( $\mu_{\Delta T} = -128$ ).

Выделяют несколько типов погоды в Санкт-Петербурге с различными скоростями ветра и облачностью. Данное сочетание не дает полной картины погодных условий, но позволяют оценить особенности мезоклимата данного района.

Таким образом – процессы циркуляции являются основными при формировании климатического режима Санкт-Петербурга, под которым понимается вся совокупность разнообразных погодных условий. Западный перенос воздушных масс и циклонических образований с Атлантического океана, который часто наблюдается на протяжении всего года, является причиной формирования климата в Санкт-Петербурге с хорошо выраженными морскими чертами: мягкой зимой,

прохладным летом, достаточно хорошим увлажнением и частым выпадением осадков.

### 2.3. Изменчивость характеристик ветра

Ветер представляет собой горизонтальное движение воздуха относительно земной поверхности. Ветер – векторная величина, основные его характеристики – направление и скорость.

В метеорологии направление ветра указывается той частью горизонта, откуда он направлен (метеорологический ветер). Направление ветра определяется в градусах и румбах. Градусы отсчитываются от северного направления географического меридиана по часовой стрелке - истинный ветер.

Для оценки силы ветра используется шкала Бофорта.

<b>Сила ветра у земной поверхности по шкале Бофорта</b> (на стандартной высоте 10 м над открытой ровной поверхностью)				
<b>Баллы Бофорта</b>	<b>Словесное определение силы ветра</b>	<b>Скорость ветра, м/сек</b>	<b>Действие ветра</b>	
			<b>На суше</b>	<b>на море</b>
0	Штиль	0-0,2	Штиль. Дым поднимается вертикально	Зеркально гладкое море
1	Тихий	0,3-1,5	Направление ветра заметно по отношению дыма, но не по флюгеру	Рябь, пены на гребнях нет
2	Лёгкий	1,6-3,3	Движение ветра ощущается лицом, шелестят листья, приводится в движение флюгер	Короткие волны, гребни не опрокидываются и кажутся стекловидными
3	Слабый	3,4-5,4	Листья и тонкие ветви деревьев всё время	Короткие, хорошо выраженные волны. Гребни, опрокидываясь,

			колышутся, ветер развеивает верхние флаги	образуют стекловидную пену, изредка образуются маленькие белые барашки
4	Умеренный	5,5-7,9	Ветер поднимает пыль и бумажки, приводит в движение тонкие ветви деревьев	Волны удлинённые, белые барашки видны во многих местах
5	Свежий	8,0-10,7	Качаются тонкие стволы деревьев, на воде появляются волны с гребнями	Хорошо развитые в длину, но не очень крупные волны, повсюду видны белые барашки (в отдельных случаях образуются брызги)
6	Сильный	10,8-13,8	Качаются толстые сучья деревьев, гудят телеграфные провода	Начинают образовываться крупные волны. Белые пенистые гребни занимают значительные площади (вероятны брызги)
7	Крепкий	13,9-17,1	Качаются стволы деревьев, идти против ветра трудно	Волны громоздятся, гребни срываются, пена ложится полосами по ветру
8	Очень крепкий	17,2-20,7	Ветер ломает сучья деревьев, идти против ветра очень трудно	Умеренно высокие длинные волны. По краям гребней начинают взлетать брызги. Полосы пены ложатся рядами по направлению ветра
9	Шторм	20,8-24,4	Небольшие повреждения; ветер срывает дымовые колпаки и черепицу	Высокие волны. Пена широкими плотными полосами ложится по ветру. Гребни волн начинают опрокидываться и рассыпаться в брызги, которые ухудшают видимость

10	Сильный шторм	24,5-28,4	Значительные разрушения строений, деревья вырываются с корнем. На суше бывает редко	Очень высокие волны с длинными загибающимися вниз гребнями. Образующаяся пена выдувается ветром большими хлопьями в виде густых белых полос. Поверхность моря белая от пены. Сильный грохот волн подобен ударам. Видимость плохая
11	Жестокий шторм	28,5-32,6	Большие разрушения на значительном пространстве. На суше наблюдается очень редко	Исключительно высокие волны. Суда небольшого и среднего размера скрываются из вида. Море всё покрыто длинными белыми хлопьями пены, располагающимися по ветру. Края волн повсюду сдуваются в пену. Видимость плохая
12	Ураган	32,7 и более		Воздух наполнен пеной и брызгами. Море всё покрыто полосами пены. Очень плохая видимость

Скорость ветра может измеряться в метрах в секунду (м/с), километрах в час (км/ч) и в узлах. Для перевода метров в секунду в километры в час надо скорость ветра, выраженную в метрах в секунду, умножить на коэффициент 3,6. Один узел составляет около 0.5 м/с или 2км/ч.

Ветровой режим очень влияет на все характеристики человеческой деятельности, так как: авиация, градостроительство, сельское хозяйство, ветровая энергетика, застройка промышленных предприятий в городе и т.д.

Исследование порывов ветра имеют не только научное значение, но и практическое, для расчета нагрузки ветра при различных проектированиях сооружений.

Нагрузка ветра определяется по максимальным скоростям ветра, исходя из метеорологических наблюдений за ветром. Скорость измеряется при осреднении по времени, порядка пары минут, именно поэтому не учитывается порывы ветра. Наличие информации о порывах ветра позволяет вводить коэффициенты поправки к расчетам нагрузки ветра.

Важной характеристикой порывов ветра является фактор порывистости.

Ветру характерны порывы и изменение направления. Для характеристики ветра определяется средняя скорость и среднее направление. Ветер называется порывистым, если за 2 минуты скорость отклоняется от среднего значения на 5 м/с и больше. По направлению можно различать постоянный и неустойчивый ветер. Скорость неустойчивого ветра в среднем 1 м/с и меньше. Приборы на метеостанциях устанавливаются, как правило, на высоте 10...12 м над землей.

Изменчивость ветра особенно резко выражена вблизи поверхности земли, это объясняется сложным рельефом и неоднородностью подстилающей поверхности. При значительных колебаниях скорости и направления, ветер называется шквалистым. Продолжительность шквала обычно длится не более нескольких минут. Скорость ветра возрастает очень быстро и в течение нескольких секунд может достичь 20-30 м/с и больше.

Одной из причин возникновения ветра является неравномерное распределение атмосферного давления вдоль земной поверхности, так

как в областях высокого давления возникает избыток массы воздуха, это ведет к тому, что воздушная масса, которая преобладает в избытке, начинает растекаться в стороны, где существует недостаток ее, т.е. в сторону низкого давления. Очень велико влияние поверхности на характеристики ветра. Например, чем больше шероховатость, тем сильнее оказывает поверхность земли на потоки воздуха, и турбулентность становится интенсивнее.

Движение атмосферного воздуха происходит под действием сил, которые разделяются на внешние силы, которые действуют на воздух со стороны других систем, и внутренние силы, возникающие в результате взаимодействия воздушных частиц, составляющих атмосферу.

В области низкого давления в слое трения, ветра направлены от периферии к центру, против часовой стрелки, отклоняясь от изобар на некоторый угол. Выше слоя трения направление ветра совпадает с направлением изобар. В области высокого давления в слое трения, ветра направлены, наоборот, от центра к периферии по часовой стрелке, отклоняясь от изобар на некоторый угол. Выше слоя трения направление ветра совпадает с направлением изобар, так как и в области низкого давления.

С увеличением высоты происходит изменение скорости и направления ветра. Так как сила трения с высотой уменьшается, то скорость ветра будет увеличиваться. Например, на высоте 500 метров скорость увеличивается в 2 раза. Также, при увеличении скорости с высотой происходит поворот ветра вправо. Угол отклонения постепенно увеличивается и на высоте около 1000м достигает  $90^\circ$ .

Выше слоя трения, в свободной атмосфере, скорость ветра может, как возрастать, так и убывать. Можно наблюдать, как и левые повороты ветра, так и правые, но также можно заметить воздушные течения, которые противоположны течениям у земли.

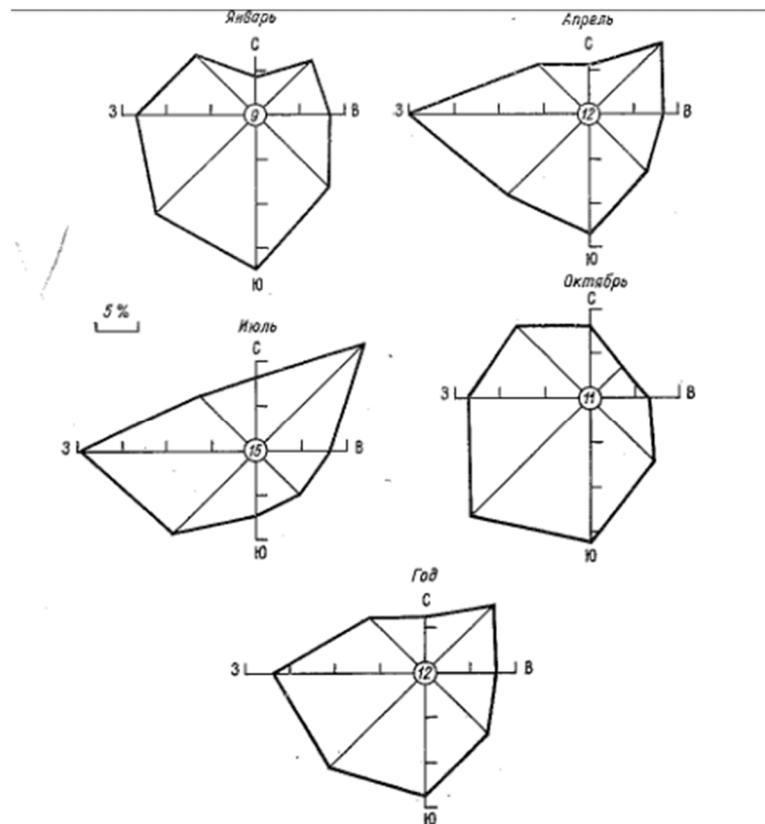
Так как выше слоя трения ветер направлен вдоль изобар соответствующего уровня, то в свободной атмосфере изменение ветра обусловлено перестройкой высотного барического поля.

Все здания и конструкции, которые возвышаются над землей, также подвергаются воздействию ветра. Ветер связан абсолютно со всеми метеорологическими характеристиками. От направления, скорости ветра и структуры течений зависит температурный режим атмосферы определенного района. Также важно отметить, что ветер связан с опасными подъемами и наводнениями.

Зимой и осенью в районе Санкт-Петербурга скорости ветра и барический градиент больше, чем летом. Большое влияние на направление и скорость ветра оказывают условия, такие как близкое расположение Финского залива, разный характер построек и др.

Когда ветер двигается вглубь города, при встрече с высотными зданиями, его рельеф значительно изменяется. Все зависит от того, как располагаются улицы и плотности застроек, соответственно, направление ветра изменяется в большей или меньшей степени от выше перечисленных параметров, а скорость ветра уменьшается.

Повторяемость ветров разных направления и безветрия (штиль) на станции ИЦП представим на рисунке.



Повторяемость (%) различных направлений ветра и штилей по сезонам.

В Санкт-Петербурге, при загрязнении воздушного пространства города, ветер играет значительную роль. Он освобождает воздушный бассейн естественным путем от загрязнения.

Данные о скорости ветра и направлении необходимы при проектировке строительства Санкт-Петербурга, планировании зон отдыха и развлечений, предприятий и заводов, которые, прежде всего, связаны с выбросами в атмосферу.

Изменение ветра по сезонам небольшое. Ветры западного, южного и юго-западного направления обычно наблюдаются в период высокой активности циклонического развития, обычно это зимние и осенние месяцы.

Большие изменения в ветровом режиме можно наблюдать в переходе от зимы к лету. Так как, циклоническая деятельность

ослабевают в теплые месяцы, то и скорость ветра уменьшается, но сохраняется преобладание западного переноса воздушных масс. Летом повторяемость штилей в 2 раза больше, чем в зимний сезон.

Также, имеет место быть, суточное изменение направления ветра, в теплый период. Это изменение связано с бризом. В районах Санкт-Петербурга, находящихся рядом с заливом, в хорошую, малооблачную погоду образуется дневной бриз. Этот ветер со скоростью 2...3 м/с, который направлен с водной поверхности. В ветреную и пасмурную погоду, разность температур незначительна и отсутствует бризовая циркуляция.

Скорость ветра в застроенной центральной части города невысокая, за год в среднем достигает 3 м/с. Но, в то же время на окраине города и в прибрежной зоне, скорость ветра увеличивается до 4,4 м/с. Если сравнивать скорость ветра на окраине и в городе, то в городе он ослаблен на 50%.

Для полной оценки ветрового режима, также необходимы данные ветра и на высотах. Датчики ветра установлены на телевизионной башне, которая находится в двух километрах от станции ИЦП.

Наблюдения за ветром с телевышки начались с 1968 года. Полные данные имеются на высоте 25 метров, так как исследования проводились непрерывно. Данные на этой высоте представлены в таблице.

Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
I	3,2	3,5	2,8	4,2	4,9	4,2	4,7	3,7
IV	3,6	5,0	3,9	4,0	4,4	4,8	3,9	3,3
VII	3,6	4,1	3,1	3,0	3,2	4,2	3,9	3,9
X	4,2	3,6	3,2	3,3	4,7	4,9	5,0	5,0

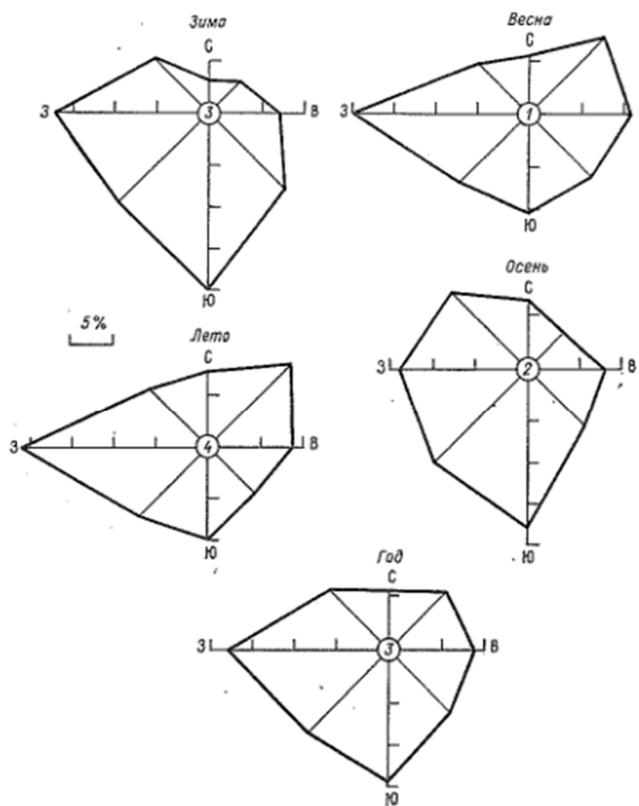
Но, скорость ветра на высоте 25 метров выше на 20% на протяжении всех сезонов, чем на высоте 10 метров у поверхности земли.

Таким образом, количество штилей на высоте 25 метров меньше, чем у поверхности земли. Количество штилей 1... 4%. При сильных ветрах порывы могут достигать больших значений. Фиксировать такие большие порывы можно с помощью электрического анеморумбометра.

Скорость ветра на высотах значительно больше и при порывах ветра может достигать колоссальных значений. По данным скорости ветра на высоте 25 метров порыв ветра достигал 29 м/с.

**Максимальные скорости ветра при порывах на высоте 25 м**

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Скорость ветра, м/с	25	25	27	24	24	22	22	22	26	29	26	28	29



Повторяемость (%) различных направлений ветра и штилей на высоте 25 метров.

На рисунке показан суточный ход ветра независимо от условий погоды. Но, в хорошую, ясную погоду суточный ход всех метеорологических характеристик очень четко прослеживается на графиках, а в пасмурную погоду, наоборот.

Также, ветер оказывает большое влияние на авиацию. Ветровой режим учитывается при расположении летного аэродрома, ориентировки и взаимного расположения нескольких взлетно-посадочных полос (ВПП).

Повторяемость ветра по направлениям обычно предоставляют в виде розы ветров. Это диаграмма, которая показывает, как распределяется ветер по направлениям. Обычно, это восемь линий, проходящих через центр, и соответствующих румбам. Также, толщина линий зависит от скорости ветра, длина линий от количества повторяемости с определенной стороны горизонта. В центре находятся штили. Повторяемость указывается в %. Также, учитывается средняя скорость ветра определенного направления.

### 3. Влияние города на скорость ветра

#### 3.1. Антропогенное изменение ветрового режима атмосферы

Антропогенное воздействие на состояние атмосферы стало исследоваться несколько тысяч лет назад для развития земледелия. Так как, во многих регионах для ведения земледелия производилось уничтожение лесных угодий, это влияло на изменение и увеличение скорости ветра на приземном уровне, а также других метеорологических величин. На данный момент, антропогенное воздействие значительно выросло.

Интересно рассматривать особенности режима атмосферы, влияющие в целом на атмосферу Земли, такие как антропогенное воздействие на данный регион.

Также на режим и состояние атмосферы влияет развитие городов. Главными факторами, которые воздействуют на режим города, являются: изменение альбедо земли, которое имеет отличие между сельской местностью и застройками, чаще всего в сельской местности альбедо выше; выделение тепла, которое проявляется разными способами деятельности человека; увеличение шероховатости в пределах города, а также загрязнением атмосферы различными примесями.

Антропогенные изменения динамического режима вызываются загрязнением атмосферы, изменением шероховатости поверхности из-за строительства промышленных и жилых зданий, загрязнением атмосферы, а также изменением термического режима атмосферы, таким как, появлением острова тепла.

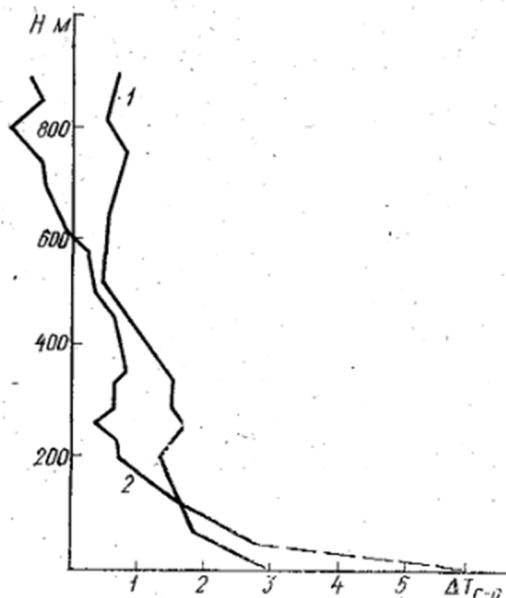


Рис. 7. Изменение вертикальной структуры острова тепла при различных скоростях ветра:

1 — от 0 до 2 м/с, 2 — больше 3 м/с

Наибольший интерес вызывает влияние радиационных свойств аэрозоля на динамику атмосферы. Влияния газов и аэрозолей на изменение пограничного слоя особенно проявляется при наличии инверсии. Принято, что в моменты сильных приземных инверсий происходит накопление большого количества аэрозольных и газовых загрязнений в инверсионной зоне ПСА, этот пример приводит к возрастанию противоизлучения атмосферы и, из этого следует, что происходит уменьшение ночного выхолаживания подстилающей поверхности. Кроме того, изменяется лучистый приток тепла в пограничном слое. В результате такого сложного взаимодействия данных процессов с турбулентным перемешиванием и теплообменом в почве формируются вертикальные профили таких метеорологических величин как температура и ветер.

Аридизация — это процесс уменьшения увлажненности территории. Аридизация земной поверхности и увеличение суточной термодинамической устойчивости воздуха приводит к росту скорости ветра. Это объясняется тем, что неустойчивость усиливает вертикальный

обмен и способствует переносу количества движения к поверхности. Тем самым, днем турбулентный обмен является более интенсивным, также усиливается перенос количества движения из верхних слоев к приземному слою, поэтому скорость ветра у поверхности земли увеличивается. В ночное время, наоборот, турбулентный перенос становится слабее, уменьшается перенос количества движения, нижние слои воздуха оказываются отделенными от верхних слоев, при этом скорость ветра у поверхности земли уменьшается.

Значительное влияние на скорость ветра у земли оказывает урбанизация.

Ученым Кремсером было исследовано, что уменьшение скорости ветра зависит от расширения градостроительства. Практически во всех его исследованиях было замечено, что в городе наблюдалось безветренных дней больше, чем в его окрестностях, также было замечено, что на 10-20% максимальная скорость ветра меньше. Изменение ветрового режима зависит от особенностей градостроительства, степени озеленения площади и климатических условий рассматриваемого региона.

Сравнивая, город и окрестности, крупные районы города, имеет место быть и сравнение между озелененными участками города. Такое сравнение наблюдается только в приземном слое атмосферы. Наглядными исследованиями являются наблюдения метеорологов Е. Н. Романовой и Р. М. Коронатовой. Эти наблюдения показывают, что летом в ясную погоду скорость ветра на подветренной стороне бывает в три раза меньше, чем на наветренной, а разность температур в тени и на Солнце составляет менее 5°C.

Исследования показали, что большие города являются «островами тепла», так как температура в самом городе выше, чем в окрестностях на 1°C. Санкт-Петербург является таким городом.

Средняя годовая температура города выше на 0,5°С в районе прибрежных станций, и на 1°С больше, чем в пригородах Санкт-Петербурга.

Разности температуры воздуха (°С) по данным станций, расположенных в окрестностях, и станции Ленинград, ИЦП (1881---1960 гг.)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII
Воейково	-1,0	-0,7	-0,6	-0,5	-0,7	-0,9	-1,1
Рощино	-1,0	-0,8	-0,4	-0,9	-0,8	-1,1	-1,0
Лисий Нос	-0,4	-0,6	-1,0	-1,4	-0,8	-0,6	-0,4
Ломоносов	0,1	-0,1	-0,4	-1,0	-0,7	-0,5	-0,4
Станция	VIII	IX	X	XI	XII	Год	
Воейково	-1,1	-1,0	-1,0	-1,1	-0,9	-0,9	
Рощино	-1,0	-0,8	-0,9	-0,8	-0,7	-0,9	
Лисий Нос	-0,3	0,0	-0,1	0,0	-0,2	-0,5	
Ломоносов	-0,3	0,1	0,3	0,3	0,3	-0,2	

На микроклимат города влияют озеленительные участки территории. Зеленые участки также влияют на скорость ветра.

В Санкт-Петербурге строится много новых построек, как в центре, так и на окраинах района. В районах новостроек нередко можно наблюдать сквозное проветривание. Сильные сквозняки появляются в тех случаях, когда дома стоят так, что господствующие ветра свободно проникают вглубь жилых территорий через разрывы зданий.

Вдоль зданий характеристики ветра меняются так, что, при перпендикулярных к фасаду ветрах ветре меняет свое направление на 90° вблизи здания, а при ветрах, направленных вдоль фасада, воздушный поток совпадает с основным.

Наличие растительности у фасадов зданий уменьшает скорость ветра на 35% в центре города и на 25% при разрыве зданий. Можно сделать вывод о том, что зеленые насаждения улучшают нижний слой воздуха.

Формирование неустойчивой стратификации, которая вызывает подъем воздушных масс, а также образование острова тепла, может привести к конвергенции приповерхностного потока над городом. Ночная конвергенция воздушного потока над городом является причиной того, что ночью, если в это время интенсивность острова тепла, максимальная, ветер в городе ослабевает, не так сильно, как днем, а иногда может быть даже больше, чем в его окрестностях. В большом количестве это наблюдается при тихой, спокойной погоде, когда в окрестностях города наблюдается значительная инверсия температуры, а в городе приповерхностный слой воздуха стратифицирован неустойчиво.



Рис. 12. Конвергенция поля скорости ветра при наличии интенсивности городского острова тепла

При наличии интенсивного острова тепла направленного внутрь города движение воздуха непостоянное. В больших городах изотермы острова тепла расположены не на равном расстоянии. В метеорологии такой процесс похож на прохождение холодного фронта, когда на небольшом расстоянии происходит резкое изменение температуры. Эта особенность может привести к резким изменениям втекающего ночью более холодного окружающего воздуха в город, в сопровождении с сильными порывами ветра.

Городские строения изменяют, также и вертикальный профиль скорости ветра в нижнем слое атмосферы.

Сила трения, возникающая при взаимодействии потока с шероховатой поверхностью, определяет поле ветра в пограничном слое. При отсутствии сильных термических воздействий толщина слоя, где учитывается сила трения, определяется шероховатостью поверхности. Измерения скорости ветра на различных высотах позволили нам определить, что значения шероховатости в городах меняется от 0,7 до 4,5 м. Существенную роль в таком разбросе метеорологического параметра играет характер шероховатости подстилающей поверхности с наветренной стороны, используемой при измерениях. Также, важна роль и степень выполнения условий нейтральной стратификации атмосферы при градиентных измерениях. Однако в целом для городской территории параметр шероховатости немного больше, чем для сельской местности.

При нейтральных условиях в нижних слоях атмосферы преобладает вынужденная конвекция за счет вихрей, определяемых динамическим воздействием потока с поверхностью. При неустойчивых условиях вертикальные движения вихрей нарастают. Вблизи поверхности земли продолжают доминировать процессы динамического происхождения, а на больших высотах значимыми становятся термические факторы. Усиление неустойчивости атмосферы уменьшает градиент средней скорости ветра.

Таким образом, термические факторы городской атмосферы влияют на ее динамический режим.

Городское строительство приводит к изменению скорости и вертикального профиля ветра, параметра шероховатости в зависимости от конфигураций и пространственного распределения зданий. Интересны работы по исследованию распределения скоростей воздушного потока вокруг изолированного здания. Рассмотрим обтекания ветра на примере здания с плоской крышей. В спокойном набегающем потоке (кривая 1) мы можем заметить логарифмический

закон. Над домом профиль ветра искажается и в зоне выталкивания потока появляется струйное течение с большими скоростями ветра (кривая 2). Ниже струйного течения скорость максимально уменьшается и в зоне, близко расположенной к крыше дома, движение направлено в противоположную сторону. На подветренной стороне дома (кривая 3) течение почти не заметно, но у поверхности земли возникают возвратные течения. На большом расстоянии от дома, защитное влияние этих течений уменьшается (кривая 4), но так как восстановление логарифмического профиля восстанавливается медленно, скорость растет не так быстро, как при спокойном потоке (кривая 1). В зависимости от формы здания изменяются характеристики потока, т. е. профили скорости ветра, структура турбулентности, возмущения, вызванные соседними зданиями или связанные с рельефом местности.

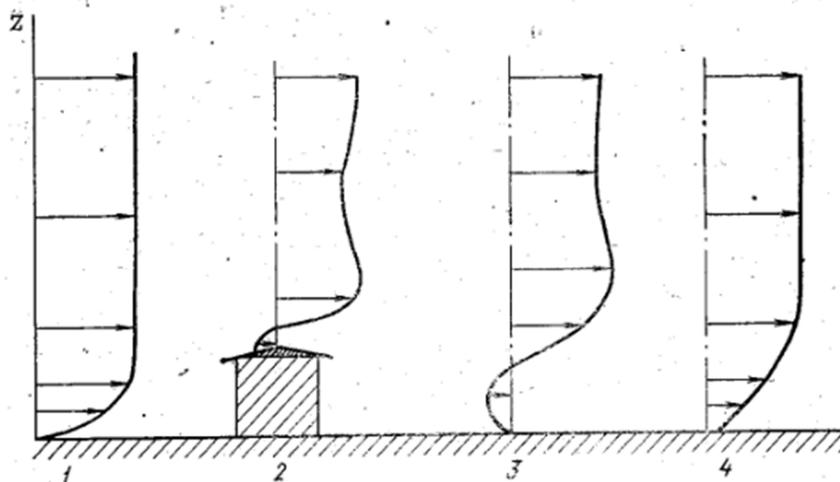


Рис. 13. Профили скорости ветра при обтекании здания

В результате турбулентности, возникающей в следе потока, перенос количества движения в этой зоне интенсивнее, чем над открытой равниной. Безусловно, поля скорости ветра зависят от формы и соотношения высот зданий, а также от угла направления потока по отношению к плоскости строительных сооружений. Если поток перпендикулярен наветренной стене, между зданиями при равной высоте возникает вихревая циркуляция, так как происходит

рассасывание воздуха на подветренной стороне и обратное течение от наветренной стены соседнего здания. Средняя скорость ветра на улицах между зданиями ослаблена, но иногда поток сильнее, чем на открытой местности на той же высоте. Степень защищенности улиц максимальна при очень слабых или очень сильных ветрах выше уровня крыш. В первом случае вихревая циркуляция развита слабо и взаимодействие воздуха у земли и вне застройки почти отсутствует, а во втором воздушный поток проносится над крышами, не проникая внутрь улиц. При вихревой циркуляции между зданиями, которые находятся под углом к направлению ветра, движение имеет винтообразный характер. Если же поток параллелен одной из стен, то влияние здания отсутствует и иметь место может только небольшая часть увеличения скорости вследствие конвергенции потока. Но, даже упрощенная модель города с одинаковыми высотами зданий дает представление о сложности поля скорости ветра.

Таким образом, довольно сложно смоделировать поля скорости ветра, которые необходимы для решения задач и вопросов, связанных с распространением примесей в атмосфере, подверженной антропогенным воздействиям.

### 3.2 Результаты исследований

Так как ветровой режим влияет на все деятельности и сферы жизни человека, то необходимо постоянно контролировать временные закономерности ветрового режима.

Для исследований изменчивости динамического режима атмосферы Санкт-Петербурга были взяты данные за 2018 год с трех станций: Воейково (запад), Информационный центр погоды (центр) и Аэропорт Пулково (юг). Для сравнения были выбраны летние и зимние месяца. Данные по направлениям ветра брались на высоте 10 - 12 метров над земной поверхностью, осредненные за 10-минутный период.

### 3.2.1 Анализ данных на станции Воейково

	июнь	июль	Август
С	4.2	32.5	3.6
Ссв	2.9	13.0	1.6
Св	2.1	7.3	1.6
Всв	0.4	5.7	1.6
В	1.3	6.5	2.0
Вюв	2.1	1.6	1.2
Юв	1.7	3.7	5.2
Ююв	7.5	3.7	3.6
Ююз	9.2	0.8	12.5
Ю	16.3	1.2	27.4
Юз	12.6	1.6	8.9
Зюз	18.4	2.0	11.7
З	8.4	2.8	9.3
Зсз	2.9	0.8	1.6
Сз	2.1	1.6	2.0
Ссз	4.2	8.5	1.2
Штиль	3.8	6.5	4.8

Таблица 1. Повторяемость (%) направлений ветра в летний период за 2018 год на станции Воейково

В таблице использована статистика направлений ветра в западной части Санкт-Петербурга на станции Воейково.

Из сравнения наблюдений видно, что в июне преобладали ветра западно-юго-западного направления (18.4%), максимальная скорость ветра 6 м/с, среднее значение ветра 2.2; в июле ветра, дующие с севера (32.5%) с максимальным значением ветра 5 м/с и средним значением 1.6, и в августе ветра с южным направлением (27.4%), максимальная скорость ветра составляла 5 м/с, среднее значение ветра в августе было 1.9.

	декабрь	январь	Февраль
С	3.2	1.6	19.4
Ссв	5.7	4.0	15.2

СВ	11.3	1.6	6.5
Всв	4.5	4.5	3.7
В	6.1	11.3	8.8
ВЮВ	4.5	5.7	6.5
ЮВ	12.6	10.5	7.8
ЮЮВ	17.4	10.5	4.6
ЮЮЗ	6.1	8.9	0.5
Ю	10.1	15.0	5.5
ЮЗ	3.2	6.5	1.4
ЗЮЗ	1.2	8.1	5.1
З	2.0	7.7	2.8
Зсз	0.4	0.4	0.9
Сз	2.8	0.8	1.4
Ссз	4.5	1.6	7.4
Штиль	4.5	1.2	2.8

Таблица 2. Повторяемость (%) направлений ветра в зимние месяца на станции Воейково.

Статистика данных за зимние месяца показывает, что в Санкт-Петербурге преобладали юго-юго-восточные ветра (17.4%), южные (15.0%) и северные (19.4%) направления.

Максимальная скорость ветра за зиму варьируется от 4 до 7 м/с. Среднее значение скорости ветра за три месяца составляет 2.1 м/с.

### 3.2.2. Анализ данных со станции ИЦП

	июнь	июль	Август
С	1.7	5.6	0.5
Ссв	1.1	11.1	1.0
СВ	0.6	13.0	2.3
Всв	2.3	17.1	3.6
В	3.2	10.7	2.8
ВЮВ	3.3	3.5	1.8
ЮВ	4.7	1.8	4.0
ЮЮВ	7.6	1.5	13.0
ЮЮЗ	5.4	0.8	9.2
Ю	5.5	0.6	7.4
ЮЗ	7.5	0.9	6.0
ЗЮЗ	21.0	5.4	18.6
З	10.7	2.5	9.0
Зсз	10.8	2.2	5.7

Сз	3.1	1.9	0.9
Ссз	2.4	7.7	4.2
Штиль	1.9	5.6	0.5

Таблица 3. Повторяемость (%) за летние месяцы на станции ИЦП

В центральном районе Санкт-Петербурга в летние месяцы наблюдались ветра западного (36%) и северо-восточного (23.8%) направлений. За весь период максимальная скорость ветра составляла 7м/с.

	декабрь	январь	Февраль
С	5.6	2.8	8.9
Ссв	4.4	2.9	11.6
Св	5.2	2.7	15.2
Всв	3.6	1.7	8.0
В	15.3	5.2	3.2
Вюв	16.9	23.9	20.2
Юв	4.8	4.1	2.3
Ююв	6.5	3.2	2.1
Ююз	5.2	12.9	7.0
Ю	13.3	5.6	4.3
Юз	7.7	5.6	1.3
Зюз	1.6	9.3	2.2
З	2.0	3.2	1.3
Зсз	1.6	3.2	0.4
Сз	0.8	7.3	2.2
Ссз	2.0	3.6	2.4
Штиль	3.2	2.8	5.5

Таблица 4. Повторяемость (%) направлений ветра в зимние месяцы на станции ИЦП.

За весь зимний период в городе Санкт-Петербурге на станции ИЦП преобладали ветра восточно-юго-восточного направления (61%). Максимальная скорость ветра 6 м/с.

### 3.2.3. Анализ данных на станции Пулковско

	июнь	июль	Август
С	1.7	5.6	0.5
Ссв	1.1	11.1	1.0
Св	0.6	13.0	2.3

Всв	2.3	17.1	3.6
В	3.2	10.7	2.8
Вюв	3.3	3.5	1.8
Юв	4.7	1.8	4.0
Ююв	7.6	1.5	13.0
Ююз	5.4	0.8	9.2
Ю	5.5	0.6	7.4
Юз	7.5	0.9	6.0
Зюз	21.0	5.4	18.6
З	10.7	2.5	9.0
Зсз	10.8	2.2	5.7
Сз	3.1	1.9	0.9
Ссз	2.1	7.7	4.2
Штиль	1.9	5.6	0.5

Таблица 5. Повторяемость (%) направлений ветра за летний период на станции Пулково

В Аэропорту Пулково в летний период преобладают ветра западно-юго-западного (40%) и восточно-северо-восточного (17%) направлений. Максимальная скорость ветра составляет 14 м/с.

	декабрь	январь	Февраль
С	1.2	1.1	5.5
Ссв	3.6	2.2	7.4
Св	3.8	1.2	8.4
Всв	13.6	5.5	13.1
В	13.1	13.8	12.5
Вюв	13.1	12.3	7.5
Юв	14.3	9.5	3.6
Ююв	7.9	11.9	4.2
Ююз	5.3	3.4	0.2
Ю	3.6	6.1	2.3
Юз	3.0	5.1	1.9
Зюз	4.2	12.0	11.3
З	3.6	5.4	5.8
Зсз	1.9	2.9	5.3
Сз	1.1	0.5	1.3
Ссз	1.0	1.1	1.9
Штиль	1.8	0.5	3.6

Таблица 6. Повторяемость (%) направлений ветра в зимний период на станции Пулково

В зимние месяцы на станции преобладали ветра восточной четверти (40%). Максимальная скорость ветра в зимний период составляла 14 м/с, также как и в летний период.

Таким образом, можно сделать вывод, что в Аэропорту Пулково, расположенным в 17 км от Санкт-Петербурга, скорость ветра значительно выше, чем в самом городе. Максимальная скорость ветра составляет 14 м/с, что в два раза больше, чем в центре города.

В Санкт-Петербурге в основном преобладают ветра северной и южной четверти, но есть и различие, в летний сезон можно наблюдать ветра западной четверти, а в зимний сезон ветра восточной четверти.

#### 3.2.4. Сравнение направления ветра у земли и на высоте 850 гПа

Исследование атмосферной циркуляции на разных высотах показало, что воздушный обмен происходит, главным образом переносом воздуха по горизонтали с большими скоростями, которые сопровождаются в сто раз меньшими движениями по вертикали.

Различие климата города и его окрестностями происходит и на высотах.

Сопоставление данных Санкт-Петербурга и Воейково показало, что суточный ход ветра на высоте в городе и в окрестностях одинаковый.

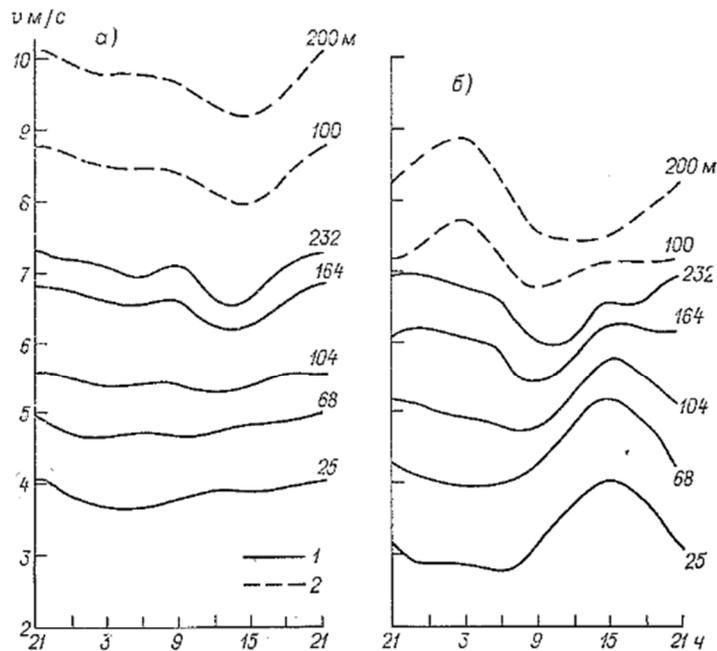


Рис. 27. Суточный ход ветра по высотам в холодный (а) и теплый (б) периоды.

1 — телебашня, Ленинград; 2 — радиозонд, Воейково.

Средняя скорость ветра в пригороде в теплый период на 2 м/с больше, а в холодное на 4 м/с, чем в Санкт-Петербурге на одних и тех же высотах.

Данная разность является уменьшением шероховатости подстилающей поверхности в окрестностях города в холодный период, в то время как в Санкт-Петербурге на протяжении всего года она не меняется.

## Заключение

В заключении можно сказать, что скорость и направление ветра играют большую роль для формирования климата и погоды Санкт-Петербурга.

Циркуляция атмосферы – это движение крупных воздушных течений. В определенный момент времени в атмосфере происходит огромное количество движений и, соответственно, эти массы, которые находятся в постоянном движении, накладываются друг на друга. Воздушные массы, которые более устойчивые и определяют циркуляцию атмосферы данного региона.

Воздушные течения возникают вследствие неравномерного нагревания воздуха. Данное действие приводит к постоянному обмену воздуха между широтами.

Циркуляция атмосферы обычно проявляется в форме циклонов и антициклонов. Под влиянием различных условий и циклонической деятельности возникает расхождение атмосферы в горизонтальном направлении на определенные массы воздуха, в которых происходит резкий переход между зонами – фронтами. Именно образование фронтов и поддерживает циклоническую деятельность.

Анализируя данные, можно сказать, что в течение всего года над городом и его окрестностями наблюдалась циклоническая деятельность. Данные были взяты за 2018 год, составлены таблицы повторяемости направлений ветров, для определения переноса воздушных масс в летний и зимний период года.

Из анализа можно увидеть, что летом 2018 года в Санкт-Петербурге преобладают ветра западной четверти (94,4%), что говорит нам о том, что воздушные массы поступают, в основном, с Атлантического океана, со средней скоростью ветра 6,5 м/с.

Зимой в Санкт-Петербурге преобладают ветра восточной четверти (90%). В основном, зимой над Санкт-Петербургом преобладает антициклон и образуется он над охлажденной поверхностью земли.

Анализ данных по направлению ветра и его скорости необходим для учета многих факторов человеческой деятельности, также необходимо исследование многолетних данных для определения численных моделей и прогнозов.

Данные могут использоваться синоптиками в повседневной работе, службами МЧС для предотвращения пожароопасных условий погоды, также огромную роль ветер играет в градостроительстве, именно поэтому при построении зданий, промышленных предприятий учитывается скорость и направление ветра.

## Список использованной литературы

1. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Издание второе, переработанное и дополненное/ Л. Т. Матвеев. – Л.: Гидрометиздат, 1984. – 752 с.
2. Курс метеорологии. Физика атмосферы/ Под ред. П. Н. Тверского. – Л.: Гидрометиздат, 1951. – 888 с.
3. Физика воздуха/ В. Гемфрис; Пер. со 2 амер. изд. О. А. Костаревой, М. А. Омшанского под ред. С. П. Хромова. – Москва; Ленинград: Глав. ред. общетехн. лит-ры и номографии, 1936 (М.: 1 тип. Трансжелдориздата). – Переплет, 515 с.
4. Головина Е. Г. Особенности антропогенного влияния на метеорологический режим атмосферы в низких широтах/ Е. Г. Головина – Л.: Гидрометиздат, 1990. – 84 с.
5. Климат Ленинграда/ Под ред. Ц. А. Швера, Е. В. Алтыкиса, Л. С. Евтеевой. – Л.: Гидрометиздат, 1982, 252 с.
6. Погосян Х. П. Общая циркуляция атмосферы/ Х. П. Погосян. – Л.: Гидрометиздат, 1972, 394 с.
7. Анапольская Л. Е. Режим скоростей ветра на территории СССР. – Л.: Гидрометиздат, 1961, 200 с.
8. Гольцберг И. А. Мезо- и микроклиматическое районирование Ленинградской области. – Труды ГГО, 1977, вып. 385, с.39 – 50.
9. Кузнецов В. И., Марковец И. М. Атмосферный воздух Ленинградской области. – В кн.: Охрана природы Ленинградской области. – Лениздат, 1979, с. 120 – 121.
10. Покровская Т. В., Бычкова А. Т. Климат Ленинграда и его окрестностей. – Л.: Гидрометиздат, 1967. – 200 с.

11. Будыко М. И. Изменение климата. – Л.: Гидрометиздат, 1974. – 279 с.
12. Алисов Б. П., Дроздов О. А., Рубинштейн Е. С. Курс климатологии, ч. 1 и 2. – Л.: Гидрометиздат, 1952. – 488 с.
13. Кратцер П. А. Климат города. Пер. с нем. – М.: Изд-во Иностранной литературы, 1958. – 239 с.
14. Ленинград. Историко-географический атлас. – М., изд. ГУГиК при СМ СССР, 1977. – 120 с.
15. Матвеев Л. Т. Особенности метеорологического режима большого города. – Метеорология и гидрология, 1979, № 5, с. 22 – 27.