



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Прикладной и системной экологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Перспективы и экологические аспекты ветроэнергетики в Санкт-Петербурге

Исполнитель

Иртюго Елизавета Владимировна

Руководитель

кандидат географических наук

Колесникова Евгения Владимировна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

кандидат географических наук, доцент

Алексеев Денис Константинович

«16» 06 2025 г.

Санкт-Петербург

2025

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Физико-географические особенности территории Санкт-Петербурга	6
1.1 Географическое положение и климат района исследования	6
1.2 Основные климатические риски региона.....	9
1.3 Социально-экономическое развитие региона и потребность в энергии. 10	
1.4 Выводы.....	13
Глава 2. Использование альтернативной энергетики в Санкт-Петербурге ..	15
2.1 Проблема использования традиционной энергетики в СПб	15
2.2 Анализ возможности использования альтернативных источников энергии в Санкт-Петербурге.....	18
2.3 Развитие ветроэнергетики в Санкт-Петербурге	24
2.4 Выводы.....	27
Глава 3. Оценка ветрового потенциала СПб.....	29
3.1 Методы расчета ветроэнергетических ресурсов	29
3.2 Средняя многолетняя скорость ветра в Санкт-Петербурге (расчет числовых характеристик).....	32
3.3 Максимальные скорости ветра в Санкт-Петербурге.....	37
3.4 Функции распределения скорости ветра.....	40
3.6 Выводы.....	45
Глава 4. Оценка экологических аспектов использования ветроэнергетики в Санкт-Петербурге	48
4.1 Понятие экологических аспектов (по ISO)	48
4.2 Анализ основных аспектов и структурированное представление информации об этом	49
4.3 Выводы.....	55
Результаты и выводы	56
Список используемой литературы.....	58
Приложение А	63

Введение

В современном мире вопрос энергообеспечения остается актуальным и острым. На данный момент основными источниками энергии по-прежнему остаются традиционные уголь (доля от общего потребления энергии – 34%), нефть (36%) и газ (30%). Но их добыча влечет за собой ряд негативных последствий: ускоренное истощение природных ресурсов, выбросы большого количества углекислого газа, нанесение серьезного ущерба окружающей среде. Именно по этой причине человечество все чаще обращается к альтернативной энергетике. Одним из самых распространенных её источников является ветер.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью перехода к источникам энергии, характеризующимся низким уровнем негативного воздействия на окружающую среду, что особенно важно в условиях крупного города с высокой антропогенной нагрузкой. Санкт-Петербург – развитый мегаполис с высоким уровнем энергопотребления, но потенциал ветроэнергетики здесь пока не используется.

Цель данной работы: оценить климатический потенциал территории Санкт-Петербурга для использования ветроэнергетики и дать характеристику её экологическим аспектам.

Для выполнения цели были поставлены следующие *задачи*:

1. Рассмотреть теоретический материал по теме исследования и дать физико-географическую характеристику территории Санкт-Петербурга.
2. Провести анализ используемых в Санкт-Петербурге ветрогенераторов.
3. Провести оценку ветрового потенциала Санкт-Петербурга.
4. Дать оценку экологических аспектов использования ветроэнергетики в Санкт-Петербурге.

Расчеты и построения выполнены с помощью программы Excel. Для оценки ветрового потенциала получены метеорологические данные с метеостанции WMO 26063 (аэропорт Пулково, Санкт-Петербург),

эксплуатируемой ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» под управлением Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации (Росгидромет) за период с 25 февраля 2005 года по 3 марта 2025 года. Измерения проводились ежедневно с интервалом в 3 часа, что составляет 8 наблюдений в сутки (в 00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 и 21:00 по местному времени). Для анализа использовались: данные о температуре воздуха (градусы Цельсия) на высоте 2 метра над поверхностью земли; направление ветра (румбы) на высоте 10-12 метров над земной поверхностью; скорости ветра на высоте 10–12 метров над земной поверхностью, осреднённой за 10-минутный период, непосредственно предшествовавший сроку наблюдения; максимальные значения порывов ветра за тот же 10-минутный период и за весь интервал между сроками наблюдений (в м/с) [28].

В рамках работы проведён анализ многолетних данных по скорости ветра в Санкт-Петербурге за период 2005–2025 годов. В рамках работы дана экологическая характеристика условий города, выявлены возможные ограничения и преимущества внедрения ветроэнергетических установок в городской среде. Также проведён анализ многолетних данных по скорости ветра в Санкт-Петербурге за период 2005–2025 годов. На основе этих данных рассчитаны статистические показатели (среднее значение, медиана, дисперсия, коэффициент вариации и др.), что позволило оценить стабильность и перспективность использования энергии ветра в регионе.

Новизна работы заключается в том, что проведена первая комплексная оценка климатического потенциала для использования ветроэнергетики в Санкт-Петербурге с учётом современных данных о скорости ветра и особенностей городского климата. В отличие от предыдущих исследований, акцент сделан не только на технических характеристиках, но и на экологических последствиях внедрения ветроэнергетики в мегаполисе.

Личный вклад в работу состоит в анализе архива данных о погоде Санкт-Петербурга за последние 20 лет. Это делалось для того, чтобы выявить наличие или отсутствие тенденций изменения скорости ветра и оценить перспективы установки ветровых турбин в городе. В работе проведено детальное описание географических и климатических условий Санкт-Петербурга для установки ВЭУ, а также проанализированы максимальные порывы ветра за каждый месяц. Также в работе рассмотрены экологические аспекты расположения ветроустановок в городе, это помогает заранее учитывать возможное влияние на окружающую среду.

Практическая значимость состоит в том, что результаты работы могут быть использованы для разработки более эффективных стратегий интеграции ветроэнергетики в энергетический баланс Санкт-Петербурга. Кроме того, они помогут учитывать экологические риски и выбирать более безопасные и подходящие места для установки турбин в городе. А также учесть все важные экологические аспекты до начала строительства.

Глава 1. Физико-географические особенности территории Санкт-Петербурга

1.1 Географическое положение и климат района исследования

Санкт-Петербург – город, расположенный на северо-западе Российской Федерации, в пределах Приневской низменности, на прилегающем к устью реки Невы побережье Невской губы Финского залива и на 42 островах Невской дельты, которые образованы 86 реками и каналами. На западе, через акваторию Батлийского залива, Санкт-Петербург географически сближен с Эстонией и Финляндией [1].

Также значимая для нашего исследования часть города — это остров Котлин, расположенный в Финском заливе. На его западной оконечности находится Кронштадт. Остров имеет почти равнинный рельеф и окружён морской акваторией, образующей широкие открытые пространства, что создаёт перспективы для использования прибрежных и водных территорий, например, для строительства прибрежных и офшорных ветропарков.

Средняя высота над уровнем моря в центральных районах Санкт-Петербурга составляет 1–5 метров.

Климат Петербурга переходный от умеренно-континентального к умеренно-морскому. Регион находится под постоянным влиянием атмосферных процессов, связанных с активной циклонической деятельностью. Это определяет высокую частоту смены воздушных масс. По данным из архива погоды со станции в Пулковском районе была построена Роза ветров с данными за последние 20 лет до 2025 года (рисунок 1.1.1). Видно, что в Петербурге преобладают ветра юго-западного и западного направлений. Они приносят влажный и относительно тёплый (зимой) или прохладный (летом) воздух с Атлантики. Среднегодовая скорость ветра не является экстремально высокой, однако в осенне-зимний период, при прохождении активных циклонов, нередки случаи значительного усиления ветра, особенно на побережье Финского залива и открытых пространствах. Сильные западные ветры могут вызывать нагонные явления в устье Невы, приводящие к подъёму уровня воды [3].

Максимальная скорость ветра в течение года наблюдается в периоды активной циклонической деятельности, которая наиболее выражена осенью и зимой. В это время атмосфера переживает наибольшие изменения, приводящие к усилению ветров. В июле и августе, наоборот, скорость ветра снижается, так как циклоническая активность ослабляется. Средние месячные значения скорости ветра в эти месяцы не превышают 2,4 м/с в осенне-зимний период и 1,8 м/с летом.

Для периода 1991–2020 гг. среднегодовая температура в Санкт-Петербурге составляла 6,3 °С, однако в период 2005–2025 гг., охваченном в рамках данного исследования, она повысилась до 6,9 °С. Это может свидетельствовать об общем потеплении климата региона, что важно учитывать при планировании использования ветроэнергетики. Среднее многолетнее число дней в году, когда среднесуточная температура превышает 0 °С, в Санкт-Петербурге составляет 246 дней, что указывает на продолжительный период с положительными температурами.

Средняя температура самого теплого месяца, июля, составляет около +18...+19 °С до 2020 года. С 2021 года, судя по данным архивов погоды средние температуры июля уже стабильно выше 20°С. Самым холодным месяцем в году на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области является февраль. Среднемесячная температура в этот период варьируется от –5,2 °С в западных районах (например, Кингисепп) до –8,3 °С в более восточных населённых пунктах, таких как Ефимовская и Винницы. Эти значения отражают общую закономерность понижения температур в направлении с запада на восток региона. Экстремально высокие температуры для региона редки, также как и сильные морозы зимой, что подтверждает морское влияние. Годовая амплитуда средних месячных температур относительно невелика для данных широт.

Распределение осадков в течение года достаточно равномерное, с небольшим максимумом в теплый период (лето-начало осени). Среднегодовое количество осадков составляет порядка 650-700 мм. Осадки преимущественно связаны с циклонической деятельностью и выпадают в основном в виде дождя летом и снега зимой. Регион характеризуется большим числом дней с осадками и высокой относительной влажностью воздуха, среднегодовое значение которой достигает 75-80%.

В целом, климатические условия Санкт-Петербурга, обладая чертами морского и континентального климата, формируют специфическую среду с умеренными температурами, высокой влажностью, значительным количеством осадков и преобладанием западного переноса воздушных масс. Эти факторы, в особенности характеристики ветрового режима, имеют непосредственное значение при оценке потенциала и экологических аспектов развития ветроэнергетики на данной территории.

Результаты и выводы

На фоне энергетической трансформации и роста потребления электроэнергии (до 37-41 млрд кВт·ч к 2035 году) возрастает потребность в чистых источниках энергии, тогда как Санкт-Петербург по-прежнему зависит от традиционных ЛАЭС и ТЭС, что снижает его энергетическую автономность.

Целью данной работы являлась комплексная оценка климатического потенциала Санкт-Петербурга для ветроэнергетики и анализ её экологических аспектов. Проведена характеристика климатических и физико-географических условий региона: рассмотрены направления и скорость ветра, рельеф и уровень антропогенной нагрузки. Город, расположенный на равнинной территории у моря, отличается преобладанием западных и юго-западных ветров, что создаёт предпосылки для развития ветроэнергетики. Однако среднегодовая скорость ветра за период 2005-2025 гг. составляет лишь 1,97 м/с, а даже максимальные среднемесячные значения не превышают 4,5 м/с (в марте), при этом в июле фиксируются минимумы до 2,4 м/с.

Отдельное внимание в работе уделено экологическим аспектам внедрения ветроэнергетики: помимо потенциальной пользы в виде снижения выбросов парниковых газов (до 0,8 т CO₂ на 1 МВт·ч), уменьшения загрязнения воздуха и зависимости от ископаемого топлива, выявлены и возможные негативные эффекты – шум, визуальное воздействие и угрозы для орнитофауны. Проведена оценка значимости факторов по пятибалльной шкале с составлением матрицы значимости и контролируемости: наибольшую управляемость показали уровень шума и выбор площадок, тогда как воздействие на птиц требует комплексного мониторинга и компенсирующих мер.

Таким образом, проведённая работа позволила не только проанализировать ветровые характеристики Санкт-Петербурга и сделать вывод о текущих ограничениях использования ветроэнергетики в крупномасштабных проектах, но и обозначить реальные пути развития этого направления в виде

маломощных установок локального масштаба. Полученные данные, включая расчёты статистических характеристик, построение клетчаток вероятности и экологическую оценку, могут быть использованы для предварительного планирования, экологического обоснования и выбора технических решений при внедрении ВЭУ на территории города.

В итоге, поставленная цель дипломной работы достигнута: климатический потенциал Санкт-Петербурга для ветроэнергетики оценен на основе многолетних метеорологических наблюдений, проанализированы характеристики действующих и потенциальных ветрогенераторов, выявлены ключевые экологические аспекты, а также предложены подходы к снижению возможных негативных последствий. Практическая значимость исследования заключается в возможности применения его результатов при разработке устойчивых энергетических решений для городской среды.

Список используемой литературы

- 1) Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gov.spb.ru/helper/day/> (дата обращения: 01.04.2025).
- 2) Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=2> (дата обращения: 03.04.2025).
- 3) Мелешко В. П., Мещерская А. В., Хлебникова Е. И. Климат Санкт-Петербурга и его изменения. СПб.: ФГБУ «ГГО им. А. И. Воейкова», 2010. 275 с.
- 4) Перспективы развития ветроэнергетики в России [Электронный ресурс] // Санкт-Петербургский региональный центр по гидрометеорологии. URL: <http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=2> (дата обращения: 06.04.2025).
- 5) Климат Ленинграда / под ред. Ц. А. Швера, Е. В. Алтыкиса, Л. С. Евтеевой. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 246 с.
- 6) Зимирева В. С. Причины падения деревьев в Санкт-Петербурге // Актуальные вопросы лесного хозяйства: материалы VI междунар. молодеж. науч.-практ.

- конф. (Санкт-Петербург, 10–11 нояб. 2022 г.). СПб.: ООО «Реноме», 2022. С. 104–109.
- 7) Павловский А. А., Митина Ю. В. Возможные последствия повышения уровня Финского залива в XXI столетии для прибрежных территорий Санкт-Петербурга // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2012. С. 221–226.
 - 8) Досуг и социальная активность молодежи в Санкт-Петербурге // Аналитический вестник. № 18. СПб.: СПб информационно-аналитический центр, 2023. С. 3.
 - 9) Федоров М. П., Кривошеев М. В. Возможности формирования энергобаланса Северо-Запада России на основе местных ресурсов // Глобальная энергия. 2013. № 3. С. 31–41.
 - 10) Федоров М. П., Кривошеев М. В. Безуглеродная энергетика как возможное направление развития энергетики региона Санкт-Петербург – Ленинградская область // Глобальная энергия. 2018. № 2. С. 10–22.
 - 11) Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Санкт-Петербурга на 2021–2025 годы [Электронный ресурс] / Администрация Санкт-Петербурга. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ingen/shemy-razvitiya-inzhenerno-energeticheskogo-kompleksa/> (дата обращения: 16.04.2025).
 - 12) Гордиенко В. А. и др. Сравнительный анализ радиоактивного загрязнения, создаваемого АЭС и ТЭС, работающими на угле [Электронный ресурс] // Вестник Московского университета. Сер. 3: Физика. Астрономия. 2012. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-radioaktivnogo-zagryazneniya-sozdavaemogo-aes-i-tes-rabotayuschimi-na-ugle> (дата обращения: 16.04.2025).
 - 13) Молдагазыева Ж. Ы., Жакан А., Аргынбай А. Воздействие ТЭЦ на окружающую среду [Электронный ресурс] // Символ науки. 2021. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozdeystvie-tets-na-okruzhayuschuyu-sredu> (дата обращения: 16.04.2025).
 - 14) Козьмина З. Ю. и др. Оценка экономической эффективности модернизации энергетического оборудования [Электронный ресурс] // Исследовано в России. 2003. № [уточнить]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ekonomicheskoy->

- effektivnosti-modernizatsii-energeticheskogo-oborudovaniya (дата обращения: 16.04.2025).
- 15) Альтернативная энергетика: перспективы развития рынка ВИЭ в России [Электронный ресурс] // Delprof.ru. 2023. URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/alternativnaya-energetika-perspektivy-razvitiya-rynka-vie-v-rossii/> (дата обращения: 16.04.2025).
 - 16) International Energy Agency. Data and statistics [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics> (дата обращения: 16.04.2025).
 - 17) ЦДУ ТЭК. ТЭК России. Вып. № 7, июль 2024 [Электронный ресурс] // Официальный сайт АО «Системный оператор ЕЭС». URL: https://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2024/7/1278/ (дата обращения: 18.04.2025).
 - 18) Семакина А. А. Разработка технологий солнечной энергетики для архитектуры города Санкт-Петербург // Молодежная неделя науки ИПМЭиТ: сб. трудов всерос. студенч. науч.-учеб. конф. (Санкт-Петербург, 2–4 дек. 2021 г.). В 6 ч. Ч. 1. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. С. 66–69.
 - 19) Ширяев А. Д., Крюков К. А. Оценка экономической эффективности работы фотоэлектрических установок на территории города Санкт-Петербурга // Оригинальные исследования. 2022. Т. 12, № 10. С. 246–252.
 - 20) Савоскула В. А., Сергиенко О. И., Павлова А. С. Оценка эколого-экономической эффективности применения альтернативных источников энергии для достижения целей Климатической стратегии Санкт-Петербурга // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: IX Междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 13–15 нояб. 2019 г.): в 2 т. Т. 2. СПб.: СПбНИУ ИТМО, 2019. С. 265–269.
 - 21) Семенович К. С. Правовое регулирование альтернативной энергетики в России // EESJ. 2020. № 5-4 (57). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovoe-regulirovanie-alternativnoy-energetiki-v-rossii> (дата обращения: 24.04.2025).
 - 22) Газпромнефть-Марин Бункер провела первую в России заправку судна биотопливом [Электронный ресурс] // Топливная карта. URL: <https://www.toplivnaya->

- karta.ru/articles/gazpromneft_marin_bunker_provela_pervuyu_v_rossii_zapravku_sudna_biotoplivom_/ (дата обращения: 24.04.2025).
- 23) Ветропарк WPP Дамба [Электронный ресурс] // Energybase. URL: <https://energybase.ru/power-plant/vetropark-wpp-damba#map> (дата обращения: 24.04.2025).
- 24) Медведева А. А. Актуальные тренды и проблемы развития ветрогенерации в Санкт-Петербурге и Ленинградской области // Индустрия 5.0, цифровая экономика и интеллектуальные экосистемы (ЭКОПРОМ-2021): сб. трудов IV Всерос. науч.-практ. конф. и XIX сетевой конф. с междунар. участием (Санкт-Петербург, 18–20 нояб. 2021 г.). СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. С. 265–268. DOI: 10.18720/IEP/2021.3/74.
- 25) СТО 70238424.27.100.059–2009. Ветроэлектростанции (ВЭС). Условия создания. Нормы и требования. М.: НП «ИНВЭЛ», 2009. 192 с.
- 26) Градостроительный кодекс Российской Федерации: федер. закон от 29 дек. 2004 г. № 190-ФЗ: в ред. от 26 дек. 2024 г. (с изм. и доп., вступ. в силу с 1 марта 2025 г.) // Собрание законодательства Рос. Федерации. — 2005. — № 1 (ч. 1). — Ст. 16.
- 27) ГОСТ Р ИСО 14001–2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению (ISO 14001:2015, IDT). Введ. 2017-03-01. М.: Стандартинформ, 2017.
- 28) Meteostat. Метеостанция 26063 – Санкт-Петербург [Электронный ресурс]. URL: <https://meteostat.net/en/station/26063?t=2025-04-22/2025-04-29> (дата обращения: 06.05.2025).
- 29) Рос Ветрогенератор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://spb.rosvetrogenerator.ru/> (дата обращения: 24.04.2025).
- 30) Российская Ассоциация Ветроиндустрии. Часто задаваемые вопросы [Электронный ресурс] // РАВИ. – URL: <https://rawi.ru/services/faq/> (дата обращения: 24.04.2025).

- 31) О техническом регулировании: Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ (в ред. от 26 декабря 2024 г.) // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2002. — № 52 (ч. I). — Ст. 5140.
- 32) О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения : федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. — 1999. — № 14. — Ст. 1650.
- 33) Об отходах производства и потребления : федеральный закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. — 1998. — № 26. — Ст. 3009.
- 34) Росатом Возобновляемая энергия. Ветроустановка 2,5 МВт [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://rosatom-renewables.ru/production/wey25/>. — Дата обращения: 05.06.2025.
- 35) База данных ветровых турбин [Электронный ресурс]. — URL: <https://ru.wind-turbine-models.com> (дата обращения: 09.06.2025).
- 36) ГОСТ Р ИСО 14001–2016. Системы экологического менеджмента. Требования с руководством по применению. — Введ. 2017-01-01. — М.: Стандартинформ, 2017. — 33 с.