

СТАТЬИ

УДК 551.588

DOI 10.17513/use.38297

ДИНАМИКА ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ РИСКИ**Алексеев Д.К., Примак Е.А., Канухина А.Ю., Виноградов Ф.В.***ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»,
Санкт-Петербург, e-mail: d.alekseev@rshu.ru*

Цель работы заключается в анализе пространственно-временной динамики зеленых насаждений Санкт-Петербурга на основе данных дистанционного зондирования. В качестве количественного критерия использовался нормализованный разностный вегетационный индекс. Исследование проводилось на основе анализа данных мультиспектральных спутниковых снимков Landsat-7 и Landsat-8 за 2002 и 2018 гг., по результатам которого было установлено снижение показателей обеспеченности зелеными насаждениями в разных районах Санкт-Петербурга. Полученные карты растительности, построенные по данным спутниковых снимков Landsat, позволяют оценить пространственное распределение показателей озеленения и спланировать объекты городского зеленого строительства. По классификации климата Кёппена городская агломерация расположена в зоне влажного континентального климата. К опасным климатическим рискам для Санкт-Петербурга относят продолжительную жару, сильную жару, ураганы, смерчи и сильный ветер. Учитывая микроклиматические характеристики Санкт-Петербурга, сценарии влияния глобального потепления, на фоне сокращения зеленых зон и зафиксированных трендов в изменении температурного и влажностного режимов следует ожидать увеличения интенсивности и продолжительности климатических рисков весьма опасного уровня. Полученные данные могут быть полезны при городском планировании, мониторинге зеленых зон и принятии практических решений.

Ключевые слова: изменение климата, адаптация городов, устойчивое развитие, городская среда**DYNAMICS OF GREEN AREAS IN SAINT PETERSBURG AND CLIMATE RISKS****Alekseev D.K., Primak E.A., Kanukhina A.Yu., Vinogradov F.V.***Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, e-mail: d.alekseev@rshu.ru*

The purpose of the research study is to analyze the spatio-temporal dynamics of St. Petersburg green spaces using remote sensing data. As a quantitative criterion we analyzed the normalized difference vegetation index data from multispectral satellite images of Landsat-7 and Landsat-8 for 2002 and 2018. A decrease of the green spaces supply in different areas of St. Petersburg were indicated. The obtained vegetation maps constructed from Landsat satellite images give us a possibility to estimate the spatial distribution of greening indicators and effectively plan urban green areas. The urban agglomeration is in the humid continental climate zone, according to the Köppen climate classification. Dangerous climate risks for St. Petersburg include prolonged heat waves, extreme heat, hurricanes, tornadoes and strong winds. Taking into account the microclimatic characteristics of St. Petersburg, recorded trends in temperature and humidity regimes, scenarios for the global warming impact on the city and the results of the green areas reduction we should expect an increase in the frequency of local overheating and an increase in the impact of heat waves. The data obtained can be useful in urban planning, green areas monitoring and practical decision making.

Keywords: climate change, urban adaptation, sustainable development, urban environment**Введение**

С учетом возможных последствий изменения климата в РФ последнее время активно формируется система из Национального, отраслевых, региональных и корпоративных планов адаптации. В конце 2023 г. был утвержден Региональный план адаптации Санкт-Петербурга к изменениям климата. Одним из приоритетных мероприятий является развитие водно-зеленого каркаса. Важное место отводится увеличению площади особо охраняемых природных территорий, зон рекреационного назначения, зон охраны объектов природного и культурного наследия и зеленого фонда города в целом.

Санкт-Петербург занимает территорию около 1,4 тыс. км², на которой проживает приблизительно 6 млн чел.: 5,3 млн из них находятся непосредственно в городе, а 0,77 млн – в городах-спутниках. Плотность населения составляет порядка 4000 человек на км². Значительная часть населения агломерации (87%) проживает на территории, составляющей лишь 16% ее общей площади. Согласно прогнозам градостроительного развития города, к 2040 г. население увеличится до 6,5 млн чел. [1]. На фоне высоких темпов жилищного строительства и автомобилизации населения из всего спектра экологических проблем

современного города, требующих решений, озеленение городской территории занимает одно из главных мест. Известно, что зеленые насаждения в современных городах играют важную роль при создании комфортной среды обитания, например снижают уровень загрязнения воздуха и эффект от городского острова тепла [2].

Впервые научный интерес к изучению озелененных территорий на микроклимат сформировался в Ленинграде в начале второй половины XX в. Например, было зафиксировано в околополуденные часы, что летом при ясной тихой погоде наблюдаются наибольшие различия температуры воздуха в зеленых насаждениях и в застройке [3]. Обычно выделяют следующие факторы воздействия зеленых насаждений на микроклимат урбанизированных территорий: радиационный баланс, скорость ветра, температурный режим, аэрозольный состав и влажность приземного слоя воздуха. В работах разных авторов неоднократно выделялись как мезоклиматические различия между городом и пригородом или

между крупными районами населенного пункта, так и микроклиматические различия метеорологических величин.

Цель данного исследования заключалась в пространственно-временной оценке динамики зеленых насаждений на основе данных дистанционного зондирования.

Материалы и методы исследования

Работа выполнена на основе многоспектральных изображений спутника Landsat 7 и Landsat 8 за 2002 и 2018 гг. (рис. 1), характеристики сцен представлены в таблице. Даты спутниковых сцен выбирались с учетом данных о погоде за летний период и распределения температур в первую половину вегетационного периода. Наиболее показательными были снимки от 11 июля 2002 г. и 31 июля 2018 г. Анализ пространственного распределения озелененных территорий Санкт-Петербурга и внутригородских районов проводился с использованием системы для автоматизированных геоанализов SAGA GIS и геоинформационной системы QGIS.

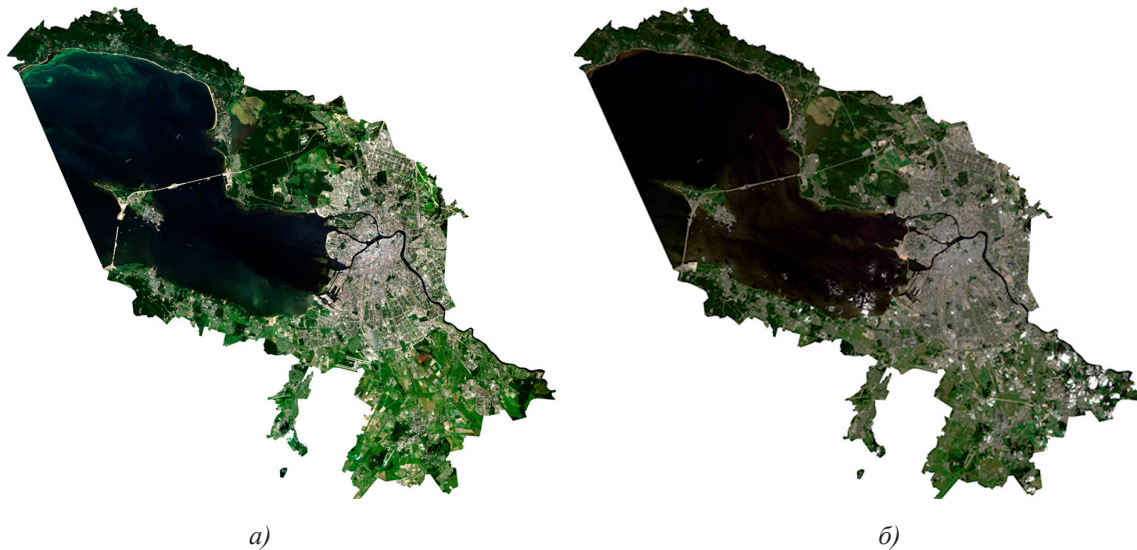


Рис. 1. Спутниковые снимки Landsat за (а) 2002 и (б) 2018 гг.

Характеристика спутниковых сцен Landsat за 2002 и 2018 гг.

Идентификатор	Источник	Дата	Характеристика погоды
LE07_L1TP_185018_20020711_20170129_01_T1	Landsat 7	11.07.2002	температура днем +28°C, температура ночью +26°C, облачно, без осадков, направление ветра С-З, скорость 1 м/с
LC08_L1TP_185018_20180731_20180814_01_T1	Landsat 8	31.07.2018	температура днем +28°C, температура ночью +26°C, ясно, без осадков, направление ветра Ю-В, скорость 2 м/с

Оценка динамики зеленых насаждений выполнена на основе простого количественного показателя, предложенного Дж. Роузом и др. в 1973 г., – нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) [4]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, RED – отражение в красной области спектра. Различные типы поверхностей выделялись на основе градаций индекса NDVI [2]: высокая степень развития растительности (состояние хорошее) – 0,49–1; средняя (удовлетворительное состояние) – 0,38–0,48; низкая (угнетенное состояние) – 0,30–0,37; очень низкая (открытые почвы) – 0,18–0,29; сильно угнетенное состояние или искусственные материалы от -0,24 до 0,17 и менее -0,24 – водные объекты.

Результаты исследования и их обсуждение

В последние годы изменение климата рассматривается как один из ведущих факторов, оказывающих влияние на здоровье населения. Это происходит как напрямую через увеличение количества дней с экстремальными температурами, наводнениями, штормами и т.д., так и косвенно, через воздействие экологических или социально-экономических факторов (например, сокращение объемов качественной питьевой воды, повышение уровня загрязнения атмосфер-

ного воздуха и др.). По различным оценкам увеличение средней температуры в период с 1971 по 2000 г. составляет примерно 5,4°C. К концу XXI в. по сравнению с указанным периодом для нескольких сценариев выбросов парниковых газов увеличение средней температуры поверхности воздуха составит 2,8°C для сценария В1 и 4°C для сценариев А1В и А2, увеличение осадков для периода с 1981 по 2010 г. предполагается на 228 мм для В1, 244 мм для А1В и 262 мм для А2 [5]. На фоне возможных климатических изменений для Санкт-Петербурга прогнозируется увеличение повторяемости, интенсивности и продолжительности опасных метеорологических явлений, таких как продолжительная жара (положительные аномалии на 7°C и более, продолжительностью в течение 5 суток и более) и сильная жара (максимальная температура воздуха +35°C и выше любой продолжительностью). В региональном плане адаптации Санкт-Петербурга выделены следующие климатические риски различного уровня опасности (рис. 2) [6].

Значительную роль в снижении климатических рисков или уровня опасностей может сыграть озеленение городской территории, при этом следует учитывать не только наличие, но и качество зеленых насаждений. В планировочной структуре городов принято выделять три класса насаждений: общего, ограниченного и специального пользования. Считается, что влияние зеленых насаждений на климатические риски определяется их площадью и плотностью.



Рис. 2. Классификация климатических рисков по уровням опасности для Санкт-Петербурга

Насаждения с сомкнутыми кронами (плотность 0,9–1) оказывают наибольшее воздействие на микроклиматический режим, меньшее влияние – с ажурными (плотность 0,8–0,7) и наиболее слабое – со сквозными (полнота не более 0,6). По различным оценкам температура в насаждениях с сомкнутыми и ажурными кронами ниже на 2–2,5°C и на 1,5°C, соответственно, чем на неозелененных улицах, а при сквозных насаждениях различия не превышают 1,5°C. В зеленых насаждениях также выше относительная влажность, а скорость ветра понижена, комфортные условия в Санкт-Петербурге формируются в зеленых массивах площадью 5–8 га [4]. Для городов умеренного пояса по числу реализуемых экологических услуг преимущество отдавать городским лесам, при этом следует учитывать не только размерность, тип, но и локализацию относительно речных бассейнов, различных функциональных зон и кварталов с различной плотностью застройки [7].

Площадь различных поверхностей для всех районов Санкт-Петербурга и города в целом рассчитывалась по приведенной ранее классификации NDVI. На первом этапе была вычислена относительная площадь поверхностей для каждой административной единицы, далее для удобства анализа значения NDVI объединялись на два класса: от 0,3 до 1 – поверхности, покрытые растительностью независимо от состояния и от -0,24 до 0,17 – искусственные материа-

лы. Результаты обработки данных представлены на рис. 3 и 4.

В среднем для Санкт-Петербурга в 2018 г. характерна следующая картина: на долю площади поверхностей с растительным покровом приходится 62%, искусственные поверхности занимают 29% от площади города. Наблюдается увеличение площади последней категории объектов на 8% по сравнению с 2002 г. на фоне сокращения доли категории «средняя степень развития растительности» на 3%, «высокая степень развития растительности» на 5%. По данным за 2018 г. в восьми районах доля площади искусственных поверхностей превышает 50%. Наиболее неблагоприятная ситуация наблюдается в исторических районах – Адмиралтейском, Василеостровском, Петроградском и Центральном. При этом сохраняется общая тенденция на увеличение площади искусственных покрытий по сравнению с 2002 г. во всех районах города на фоне снижения площади озелененных территорий. Наиболее благоприятная ситуация наблюдается в Курортном, Петродворцовом и Пушкинском районах, где расположены основные городские особо охраняемые природные территории и памятники природного и культурного наследия. Значительное сокращение относительной площади (%) поверхностей с растительностью ($NDVI > 0,3$) наблюдается в Колпинском, Красносельском, Калининском и Приморском районах.

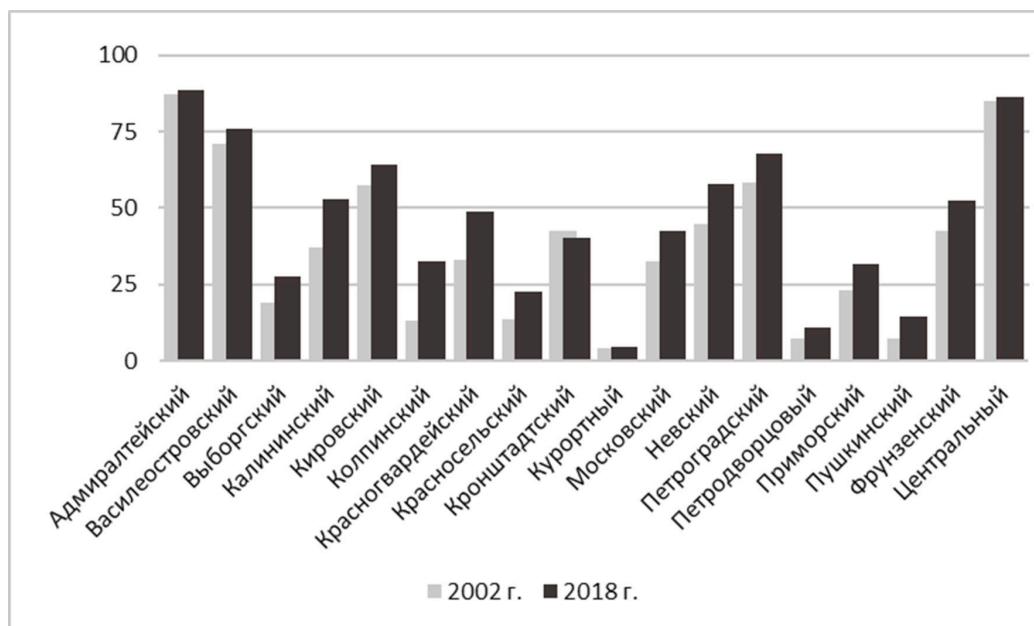


Рис. 3. Распределение относительной площади (%) искусственных поверхностей по различным районам Санкт-Петербурга за 2002 и 2018 гг. (NDVI)

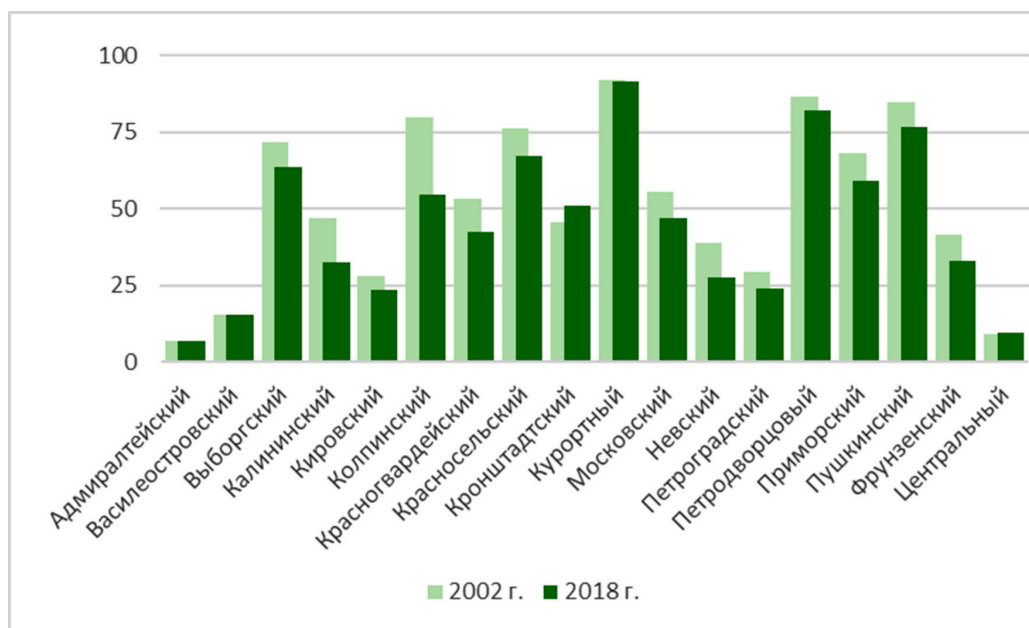


Рис. 4. Распределение относительной площади (%) поверхностей с растительностью по различным районам Санкт-Петербурга за 2002 и 2018 гг. (NDVI > 0,3)

Во многом данная ситуация связана с активной жилищной застройкой и развитием улично-дорожной сети (УДС). Например, наиболее высокая плотность УДС характерна для Адмиралтейского – 7,3, Центрального – 7,1 и Петроградского района – 6,3 км/км² [8]. Для пригородных районов (Курортный, Пушкинский, Колпинский) характерна низкая плотность УДС из-за менее плотной застройки, состоящей из отдельных жилых образований, соединенных сетью дорог, а для периферийных районов города, граничащих с крупными промышленными территориями, средняя плотность УДС – от 3,1 до 5 км/км². К таким районам относятся Калининский, Кировский, Красносельский, Красногвардейский, Московский, Выборгский и Невский.

Учитывая микроклиматические характеристики Санкт-Петербурга, сценарии влияния глобального потепления, на фоне сокращения зеленых зон и зафиксированных трендов в изменении температурного и влажностного режимов следует ожидать увеличения интенсивности и продолжительности климатических рисков весьма опасного уровня.

Высокая степень развития растительности зафиксирована в районах, расположенных на границе с Ленинградской областью. Несмотря на то, что вертикальная застройка города способствует экономии земельных участков, это приводит к резкому снижению

обеспечения населения зелеными пространствами в подавляющем большинстве жилых районов. Следует увеличивать площадь охраняемых парков, резервировать незастроенные участки, постановив в качестве цели, чтобы не менее 90% жителей имели доступ к общественным зеленым зонам (включая парки, сады, школьные дворы, территории жилых комплексов) в пределах 300 м от дома – эталон, используемый ведущими европейскими городами. Рассмотреть возможность создания зеленых зон на бывших промышленных территориях. При реализации проектов по благоустройству территории активно внедрять различные элементы зеленой инфраструктуры, такие как сады дождя, проницаемые покрытия, зеленые улицы, и крыши, создание интерактивной карты проектов зеленой инфраструктуры Санкт-Петербурга.

Важно отметить, что климатические условия Санкт-Петербурга, такие как высокая влажность, режим ветра, световой режим, могут оказывать отрицательное влияние на формирование и поддержание зеленого каркаса города. В мегаполисе в среднем бывает 62 солнечных дня в году, при этом различные негативные факторы (смог, пыль, дым, различные примеси в воздухе) могут изменять световой и тепловой режим в приземном слое, существенно изменяя микроклиматические характеристики.

Повышение культуры ведения садово-паркового хозяйства городскими службами и привлечение местных жителей к работам по благоустройству будет способствовать сохранению существующих зеленых насаждений. Перечисленные меры должны способствовать устойчивому развитию Санкт-Петербургской агломерации в сочетании с возможными климатическими изменениями.

Заключение

Распределение озелененных территорий в пределах административных границ Санкт-Петербурга по результатам анализа спутниковых снимков за 2002 и 2018 гг. крайне неоднородно. В период с 2002 по 2018 г. в Санкт-Петербурге наблюдалось сверхбыстрое возведение многоэтажных зданий, что привело к резкому увеличению численности и плотности населения, созданию новой городской инфраструктуры. К опасным климатическим рискам для Санкт-Петербурга относят продолжительную жару, сильную жару, ураганы, смерчи и сильный ветер. Учитывая микроклиматические характеристики Санкт-Петербурга, сценарии влияния глобального потепления, на фоне сокращения зеленых зон и зафиксированных трендов в изменении температурного и влажностного режимов следует ожидать увеличения интенсивности и продолжительности климатических рисков весьма опасного уровня.

Список литературы

1. Закон Санкт-Петербурга от 22.12.2005 № 728–99 (ред. от 26.12.2023) «О Генеральном плане Санкт-Петербурга» (принят ЗС СПб 21.12.2005) [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/7800202312290028> (дата обращения: 29.06.2024).
2. Низамутдинов Т.И., Колесникова Е.В., Алексеев Д.К. Влияние зеленых насаждений на динамику загрязнения воздуха в городах // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2021. № 1. С. 58–73. DOI: 10.15593/2409-5125/2021.01.05.
3. Климат Ленинграда / Под ред. Ц.А. Швер, Е.В. Алтыкиса, Л.С. Евтеевой. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 254 с.
4. Rouse J.W., Haas R.H., Scheel J.A., Deering D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium. 1974. Vol. 1. P. 48–62.
5. Томилина О., Меньшова Ю., Савенкова Г., Богатырев И., Рябчук Д., Франк-Каменецкий Д., Павловский А. Геологические и экологические риски Санкт-Петербурга. Практические рекомендации по адаптации к климатическим изменениям. Санкт-Петербург. 2014. [Электронный ресурс]. URL: <http://cliplive.infoeco.ru/dl/Mineral/reports/CLIPLIVE%20SPb%20report%20rus.pdf> (дата обращения: 19.06.2024).
6. Распоряжение Правительства Санкт-Петербурга от 21.12.2023 № 25-рп «Об утверждении Регионального плана адаптации Санкт-Петербурга к изменениям климата». [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/7800202312290015> (дата обращения: 29.06.2024).
7. Климанова О.А., Колбовский Е.Ю., Илларионова О.А. Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура, территориальное планирование и проблемы развития // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63, Вып. 2. С. 127–146. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2018.201.
8. Колесникова Е.В., Музалевская А.А. Влияние автотранспорта на загрязнение атмосферного воздуха Санкт-Петербурга // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2024. № 1. С. 69–83. DOI: 10.15593/2409-5125/2024.01.05.