

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАГАН Михаил Борисович

Выпускная квалификационная работа

Анализ роста городов стран Балтийского региона с использованием ДЗЗ и ГИС-технологий

Уровень образования: *бакалавриат*

Направление *05.03.03 «Картография и геоинформатика»*

Основная образовательная программа *СВ.5020.2017 «Картография и геоинформатика»*

Научный руководитель:

доцент кафедры картографии и геоинформатики

Санкт-Петербургского государственного университета,

к.т.н., Паниди Евгений Александрович

Рецензент:

главный специалист

ЗАО «ЭКОПРОЕКТ»

к.г.н., Солодов Алексей Анатольевич

Санкт-Петербург

2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. РОСТ ГОРОДОВ	4
1.1. Рост городов.....	4
1.2. Острова тепла.....	7
1.3 Исследования ученых ДЗЗ и ГИС-технологиями	10
2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	13
2.1. Выбор территории.....	13
2.2. Географическое положение и климат.....	13
2.2.1. Рига	13
2.2.2. Санкт-Петербург	15
2.2.3. Таллинн.....	16
2.2.4. Хельсинки	17
3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	19
3.1. Методика исследования.....	19
3.2. Материалы, использованные в исследовании	20
3.3. Исходные данные	22
3.4. Предобработка	23
3.5. Постобработка	25
3.6. Расчет температуры поверхности	27
3.7. Создание разностного изображения.....	30
3.8. Анализ.....	31
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	33
4.1. Изучение фондовых данных	33
4.2. Санкт-Петербург.....	34
4.3. Хельсинки	39
4.4. Таллинн.....	44
4.5. Рига	49
4.6. Анализ результатов	53
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	56
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	57

ВВЕДЕНИЕ

В прошлом веке произошел рост городов, который продолжается и сегодня. Развитие происходило на всем протяжении истории человечества и увеличивалась концентрация людей на небольшой территории, приводя к социальным, экономическим, транспортным и другим проблемам. Бывший Генеральный секретарь ООН Кофи Аннан назвал наш период городским тысячелетием. На данный момент больше половины населения мира проживает именно в городах и по прогнозам ученых показатель достигнет две трети к середине 21 века. В связи с этим многие исследователи предлагают пути решения по эффективному управлению городами.

Увеличение численности населения вынуждает производить застройку новых земель, тем самым сокращая зеленые зоны, лесные массивы, а итогом становится повышение температуры на новой территории, которая негативно сказывается на местных жителях. Все это может нам говорить о расширении городов.

Для роста городов применяют различные методы исследования, одним из которых являются данные дистанционного зондирования Земли. С помощью космоснимков можно проводить мониторинг территории за определенный промежуток времени, минимизировать полевые работы и получать данные, которые не зафиксировать при выполнении на местности. Для обработки снимков использовали ПО ENVI, QGIS и ArcGIS.

Цель работы состоит в анализе роста городов Балтийского региона с помощью ДЗЗ и ГИС.

Для реализации поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- изучение роста городов по фондовым источникам;
- рост городов по индексным изображениям;
- анализ увеличения застройки и сокращения зеленых зон;
- возникновение островов тепла как следствие увеличения застройки.

Объектом исследования работы являются города Балтийского региона на примере Риги, Санкт-Петербурга, Таллинна и Хельсинки.

Выражаю благодарность за бесценную помощь в подготовке выпускной классификационной работы своему научному консультанту ст. преп. Поздняковой Н.А.

1. РОСТ ГОРОДОВ

1.1. Рост городов

Рост городов является одной из самых серьезных проблем для людей в двадцать первом веке. Каждый год население увеличивается на 50 миллионов человек, и данный рост остается практически экспоненциальным, и пик может прийти только к середине века. Многие ведут бурные дискуссии об оценивании потребления земельными ресурсами, об управляемом размере мегаполисов и несложных способах структурирования огромного распространения урбанизации (Schweitzer, 2006).

Урбанизация – процесс повышения роли городов в обществе, протекающий в мировых масштабах социально-экономический процесс, связанный с научно-техническим развитием и концентрацией производительных сил, а также распространением городского образа жизни. Уровень урбанизации является важным фактором, так как с помощью ее определяют характер населения. Также она является следствием миграции населения из сельской местности в городскую в поисках работы. Города развивались на всем протяжении истории человечества и повышалась их роль, но в прошлом веке началось увеличение концентрации людей в городской местности, которое продолжается и сегодня.

В 2020 году в Абу-Даби в Объединенных Арабских Эмиратах проходил десятый форум городов. На нем привели факты, что половина человечества – 3,5 млрд. человек проживает в городах и по прогнозам к 2030 году в городских районах уже будет проживать 5 млрд человек. Также в ближайшее время свыше 90 % роста городов будет приходиться на развивающиеся страны. Города примерно занимают 3 % суши, но на них приходится около 75 % выбросов углекислого газа. И главная проблема в том, что в 2016 году 90% горожан дышали воздухом, который не отвечал установленному ВОЗ стандарту безопасности. В итоге это привело к смерти 4,2 миллиона человек (<https://news.un.org/ru/story/2020/02/1372221>). Уровень урбанизации в Финляндии составляет 85 %, Эстония 69 %, Латвия 68 %, Россия 75%, данные на 2019 г. из всемирного банка (МБРР) (<https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS>). По данным рисунка 1 видно, что наибольший уровень урбанизации в Финляндии. В Эстонии и Латвии примерно одинаково. Из рисунка 1 также виден рост за последнее время.

Урбанизация не только рост и появление новых городов, но и процесс объединения городов между собой, который называют агломерацией. Далее они разрастаются и происходит сближение с соседними населенными пунктами, что

приводит к созданию мегаполисов, сильно урбанизированных территорий. Самая крупная – Токио – Йокогама, далее Джакарта, Дели, Манила, города Китая и Кореи и т.д. Москва располагается на 15 месте, Санкт – Петербург на 73 месте по данным на 2015г. (<https://www.worldometers.info/population/largest-cities-in-the-world/>). Также выделяют такое понятие как урбанизированная территория – это площади, которые занимают города и поселения и связанные с ними инженерные, производственные и транспортные связи. По типу планировочной структуры различают линейные, компактные и рассредоточенные территории. Урбанизированные территории сопровождаются нарушениями в экологической среде (<https://www.who.int/bulletin/volumes/88/4/10-010410/ru/>).

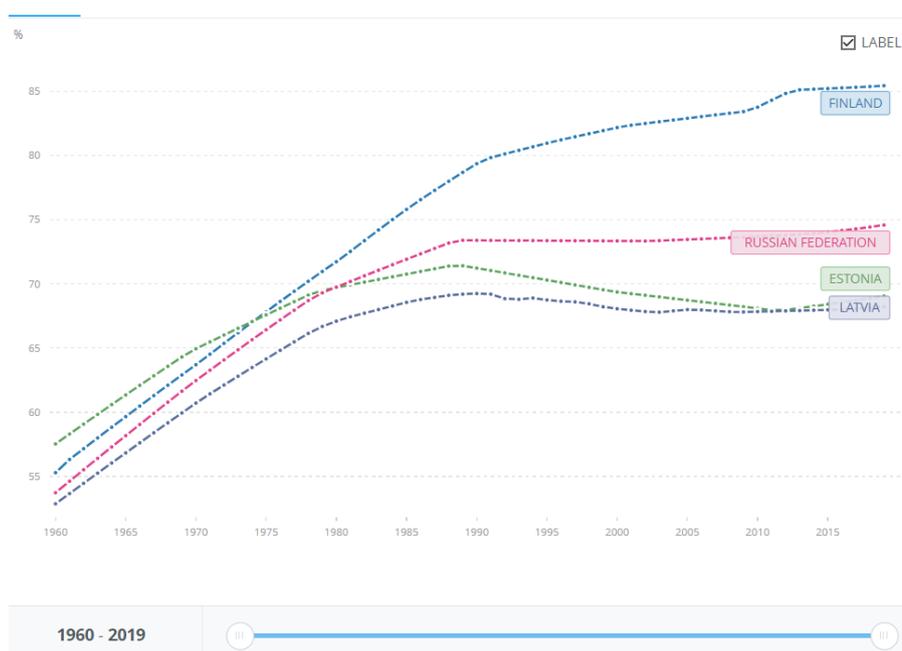


Рисунок 1. Изменение уровня урбанизации с 1960 – 2019 г в странах Балтийского региона (<https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS>).

ВОЗ отмечает, что наибольшие проблемы со здоровьем у людей наблюдаются в городах, которые связаны с низким качеством питьевой воды, травмами, сердечнососудистыми, отсутствием физической активности и другими болезнями (<https://www.who.int/bulletin/volumes/88/4/10-010410/ru/>). В 2010 г. ВОЗ посвятила всемирный день здоровья охране здоровья горожан с кампанией «1000 городов, 1000 жизней». Целью было создание общественных мест более благоприятных для местных жителей и продвижение идей о здоровом городе. В организации считают, что городское планирование может содействовать здоровому поведению, создание мест для физической активности, улучшение жилищных условий в городах, повышение качества питьевой воды и воздуха (<https://www.who.int/world-health-day/2010/about/ru/>).

Данные дистанционного зондирования могут служить качественной основой для разработки схем территориального планирования и градостроительной документации. Космоснимки предоставляют нам полную информацию о земельных ресурсах, объектах строительства, транспортной инфраструктуре и другом. Также целесообразно использовать данные и для развития городских территорий (Кресникова, Васильевых, 2018). Применяя различные комбинации каналов, рассчитывая показатели, исследователи создали индексы и синтез каналов, которые помогают нам в отображении и анализе необходимой информации со снимка. Для городов существует, например, универсальный вегетационный индекс (NDVI), который помогает следить за увеличением или сокращением растительности, также есть индекс застройки территорий (NDBI), который дает понятие о разрастании городов, также можно создавать разностные изображения, классификации и многое другое для исследования городов дистанционными методами.

Важным документом развития городов является генеральный или стратегический план (рис.2), на основании которого осуществляем проектировку и дальнейшее развитие города по освоению земель. Он является нормативно-правовым актом, в котором определяются функциональные зоны на длительное время.

Нехватка земли в границах города для строительства или редевелопмент «серых поясов» (зона промышленной застройки – заводы и фабрики, когда город стал развиваться дальше прежних окраин), связаны с изменением функциональных зон территорий. Это зоны, для которых генеральным планом устанавливается функциональное назначение, типы и виды функционально-планировочных образований, которые могут быть образованы в пределах таких зон (зоны жилого, общественно-делового, промышленного, рекреационного назначения) (<https://www.mos.ru/mka/function/dlia-spetsialistov/terminy-i-opredeleniia/>). Без изменения функциональной зоны нельзя начинать новое строительство на территории.

Но при застройке территории возникают новые проблемы, возрастает температура за счет нагрева поверхностей, которая негативно сказывается на горожанах и окружающей среде. Поэтому стоит рассматривать увеличение застройки с возникновением островов тепла. В этом нам поможет модуль в QGIS Land Surface Temperature, с помощью которого рассчитаем температуру поверхности.

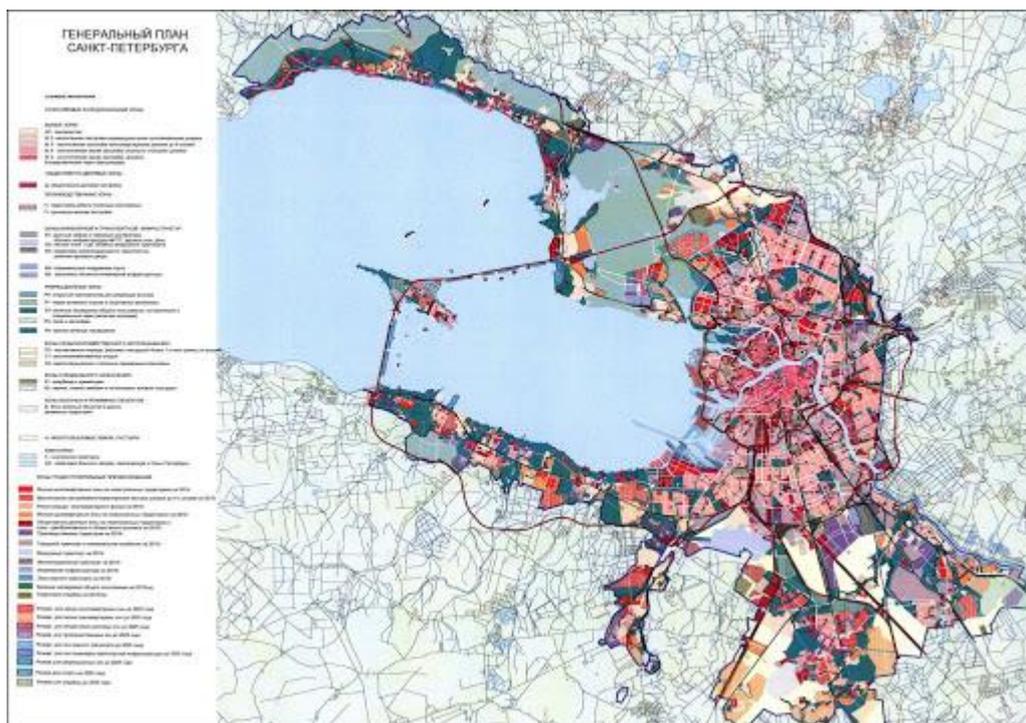


Рисунок 2. Генеральный план Санкт-Петербурга 2015 г.

(<https://kgainfo.spb.ru/zakon/generalplan/>)

1.2. Острова тепла

Что мы понимаем под островами тепла в городской местности (urban heat island)? Данное явление заметил и открыл британский метеоролог Люк Говард в начале 19 века. Он провел измерения температуры воздуха в центре Лондона и в районе Тоттенхэм, который тогда являлся пригородом Лондона. Фиксируя измерения в течение нескольких месяцев, заметил, что температура в центре Лондона выше, чем на окраине, особенно ночью. Люк нашел разницу по уравнению, вычитая городскую местность из сельской (Howard, 1818). Остров тепла - это более урбанизированная территория, над которой значительно теплее, чем в близлежащей к ней сельской местности (рис.3). Наибольшая разница температур заметна в ночные часы, нежели в дневные и особенно при безветренной погоде, когда нет проветривания улиц естественными потоками, способными охладить поверхность (<https://www.metlink.org/fieldwork-resource/urban-heat-island-introduction>). Одна из основных причин возникновения островов тепла в том, что в городе наблюдается малое количество растительности и открытой поверхности, которая выступает в роли охладителя территории. Растительность, трава, деревья и водоемы способны понижать температуру окружающей местности, давая собственную тень, и за счет поглощения зеленой растительностью воды, которая испаряясь, дает прохладу. Крыши, здания, тротуары, большие площади асфальтового покрытия,

стеклянные небоскребы быстрее испаряют влагу, чем природные ландшафты, тем самым способствуя повышению температуры. Темные материалы, из которых они производятся, поглощают большое количество энергии и имеют низкое альbedo, тем самым нагревая поверхность.

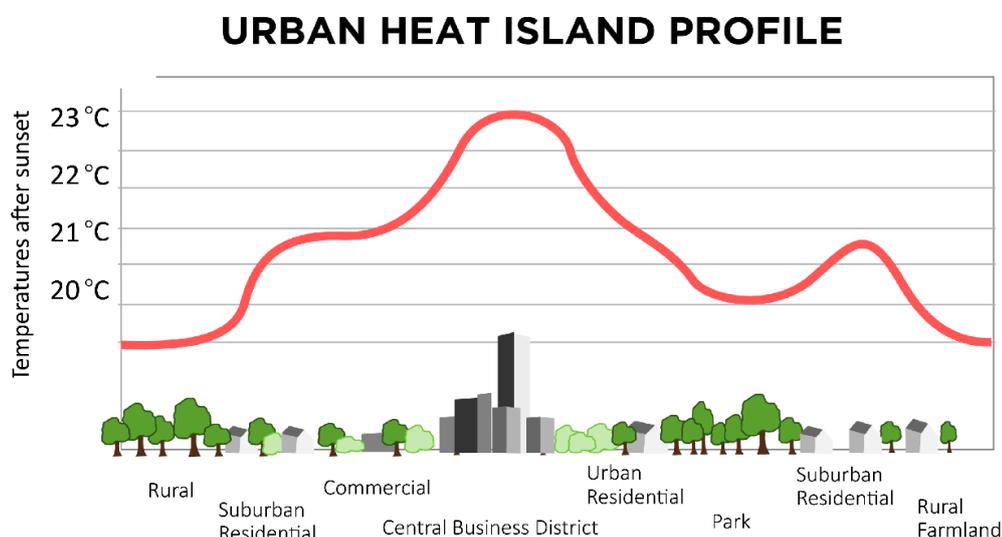


Рисунок 3. Острова тепла над городскими и сельскими территориями (https://rodovid.me/green_city/kak-sokratit-effekt-gorodskogo-teplovogo-ostrova.html)

Недостаток также заключается в меньших затратах энергии на испарение воды, меньшее отражение солнечной энергии, накапливание тепла зданиями, асфальтом, чем в сельской местности. Антропогенные источники тепла (автомобили, работа промышленных секторов, охлаждение/отопление зданий, бытовая деятельность) также влияют на повышение температуры в урбанизированной местности и тем самым, создавая парниковый эффект. Также оказывать воздействие может и рельеф подстилающей поверхности. Рядом расположенные горы могут блокировать попадание ветра в город, а могут и наоборот формировать, и направлять поток через городскую среду (<https://www.epa.gov/heatislands/learn-about-heat-islands>).

С изменением климата фиксируется рост глобальных температур и интенсивность периодов аномальной жары. Затяжные промежутки тепла в дневные и ночные периоды создают физиологический стресс для организма человека, который ухудшает течение заболеваний, являющихся основными причинами смерти во всем мире, включая респираторные и сердечнососудистые заболевания, сахарный диабет и заболевания почек (<https://www.who.int/globalchange/publications/heat-and-health/ru/>). Многие фокусируются на глобальном потеплении климата, но в пределах города за счет тепловых островов температура может увеличиваться до десяти градусов. Это создает

сложности для определенных групп населения (пожилые люди, младенцы, беременные, лица, работающие на открытом воздухе или занятые ручным трудом), которым непросто переносить повышение температуры. Летом с приходом аномальных температур в Европе повышается количество смертей, которые связаны с высокой температурой. Многие города решили бороться с этим с помощью озеленения, водных объектов, которые могли бы давать населению прохладу в условиях жаркого города.

В Нидерландах провели изучение города Роттердама на острова тепла в проекте «Hotterdam» - горячий Роттердам. В июле 2006 году были зафиксированы температурные рекорды, которые привели к повышению смертности. Исследователи задались рядом вопросов: какие районы более подвержены влиянию островов тепла; есть ли связь тепла и смертности среди людей, если взять во внимание старше 75 лет; можно ли объяснить различие температур в разных частях города с помощью социальных и физических качеств города (Hoeven, Wandl, 2015). Данные были собраны в атлас, итогом которого стали две тепловые карты (социальная и физическая). Первая выражала чувствительность пожилых людей к теплу, а другая использование земель и как это влияет на острова тепла. Для Роттердама источники тепла – морской порт, бизнес центры и промышленные кварталы. А если брать места проживания людей, то это довоенные кварталы, которые имеют плотную застройку и маленький процент природных ландшафтов и озеленения (Hoeven, Wandl, 2015).

Ростом городских температур заинтересовались в швейцарском Сьоне. Город участвовал в федеральной программе по повышению тепла городов в период с 2014 по 2016 годы с проектом «AcclimataSion», который показывает, как реализация градостроительных проектов может способствовать созданию комфортной городской среды, но и решению перспективных задач, такие как адаптация современных городов к новым климатическим условиям (<https://www.sion.ch/acclimatasion>). По проекту предположили с большей долей вероятности, что пиковые температуры вырастут к 2100 году на 3°C, а также и количество осадков. Повысится градус и в городских островах тепла, которые негативно сказываются на здоровье горожан, животных, растений и др. Город нагревается за счет дорог, зданий, огромных площадей бетона и асфальта. И власти решили бороться с проблемой тепла с помощью растительности и водных объектов, которые создают свой микроклимат (<https://www.sion.ch/acclimatasion>). И привели интересные примеры:

- одно дерево способно заменить 5 кондиционеров;

- темные крыши в жаркие дни могут достигать температуры в 80°C, в то время как зеленые крыши 29°C;
- фонтаны, ручьи, каналы и реки повышают влажность и снижают температуру воздуха.

Цель проекта:

- продолжить создавать общественные пространства, отводя большую часть растительности и водным объектам;
- продвигать проекты, направленные на снижение температуры воздуха в городской черте;
- принять во внимание климатические вопросы для создания генеральных планов и схем территориального планирования;
- делиться накопленным опытом и знаниями с другими городами.

В рамках проекта были озеленены улицы, площади, создали различные водные объекты (фонтаны, ручейки, открытые бассейны), многие асфальтовые пространства превращены в скверы, где теперь растут деревья и дают прохладу местным жителям, укладка более светлого и водопроницаемого покрытия во избежание подтоплений во время дождей.

Различных проектов на данную проблему во всем мире с каждым годом все больше и больше и многие города изучают ее в связи с потеплением и изменением климата и повышением температур, от которых с каждым приходом тепловых волн возрастает смертность и проблемы городов. Поэтому снижение градуса тепла будет одной из главных и перспективных тем в ближайшем будущем.

1.3 Исследования ученых ДЗЗ и ГИС-технологиями

Индийские ученые проанализировали связь между данными LST, NDVI и NDBI со спутника Landsat 8 в городе Хошангабад в штате Мадхья-Прадеш. Во время исследования отношения между NDBI и LST выявили прямую связь в каждом сезоне года. Застроенные территории и места с открытой поверхностью показали максимальную температуру в отличие от зон с растительностью. Между NDVI и LST корреляция негативная, изменяясь немного от времени года, особенно в сезон дождей, что говорит нам о влиянии зеленой растительности в уменьшении температуры. Индекс NDBI можно использовать не только для анализа и прогнозирования LST, но также и для обеспечения надежной основы для строительства и планирования (Malik, Shukla, Mishra, 2019)

В другом исследовании турецкие ученые рассматривали разрастание прибрежного города Мерсина на юге Турции. Использовали космоснимки за определенный период времени с 1987 – 2009 г. и фондовые источники. По данным количество жителей увеличилось в 2,5 раза, следовательно, рост населения вызывает спрос на строительство новых квадратных метров жилья. За 22 года площадь города возросла более чем в 2 раза (рис.4). Замечено уплотнение во внутренних районах, строительство вдоль главных транспортных осей. Ученые отмечают полезность дистанционных данных, так как с их помощью можно отслеживать разрастающиеся и уменьшающиеся районы, изучение отдельных областей и выявление социально-экономических причин. Результаты можно использовать в городском и региональном планировании городов (Beyhan, Taubenböck, Suffa, Ullmann, Rauh, Dech, 2012)

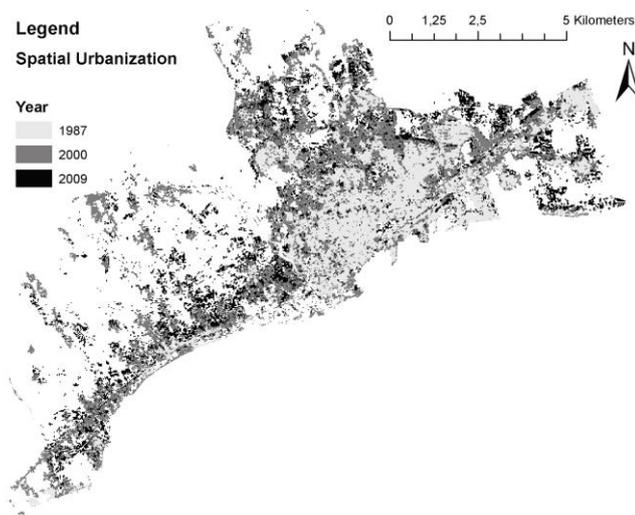


Рисунок 4. Изменение Мерсина за 22 года (Beyhan, Taubenböck, Suffa, Ullmann, Rauh, Dech, 2012)

Ученые из Ирана и Малайзии рассмотрели для исследования шесть деkad роста города Бендер-Аббас на юге Ирана с использованием дистанционного зондирования и ГИС-технологий. За последние несколько десятилетий город испытал быстрый рост за счет экономического, коммерческого и туристического потенциала, так как он располагается на берегу Ормузского пролива. Исследование проводилось с целью разрастания в течение последних шести деkad и подготовки основы для городского планирования, и управления. Городская площадь выросла с 400 га до почти 5000 га, вместе с численностью населения (рис.5). Замечено беспорядочное и хаотическое разрастание Бендер-Аббаса, как и в других развивающихся странах, под влиянием главных транспортных осей, промышленных объектов, туризма и новой застройки в связи с низкой ценой земли в пределах города. Быстрый рост не всегда происходит

одинаково с развитием инфраструктуры, вызывая социальные, экономические и отсутствие комфортной среды для населения. Для города также негативно сказалось, неравномерное разрастание городской территории повлекло потерю земли на береговой линии, которую можно было использовать для туристических целей (Dadras, Helmi Shafri, Ahmad, Pradhan, Safarpour, 2014).

Данное исследование подтверждает большую ценность методов дистанционного зондирования в городских исследованиях и ГИС. В свете последних тенденций происходит рост урбанизаций и населения, противоположность им составляет сокращение пригодной для городской застройки земли. Огромную ценность представляет важность изучения изменения застроенной территории и подготовки планов развития, основанных на данных дистанционного зондирования и геопространственных данных, которые также будут иметь значение для других городов Ирана, а, следовательно, и по всему миру в связи с нехваткой земли для строительства (Dadras, Helmi Shafri, Ahmad, Pradhan, Safarpour, 2014).

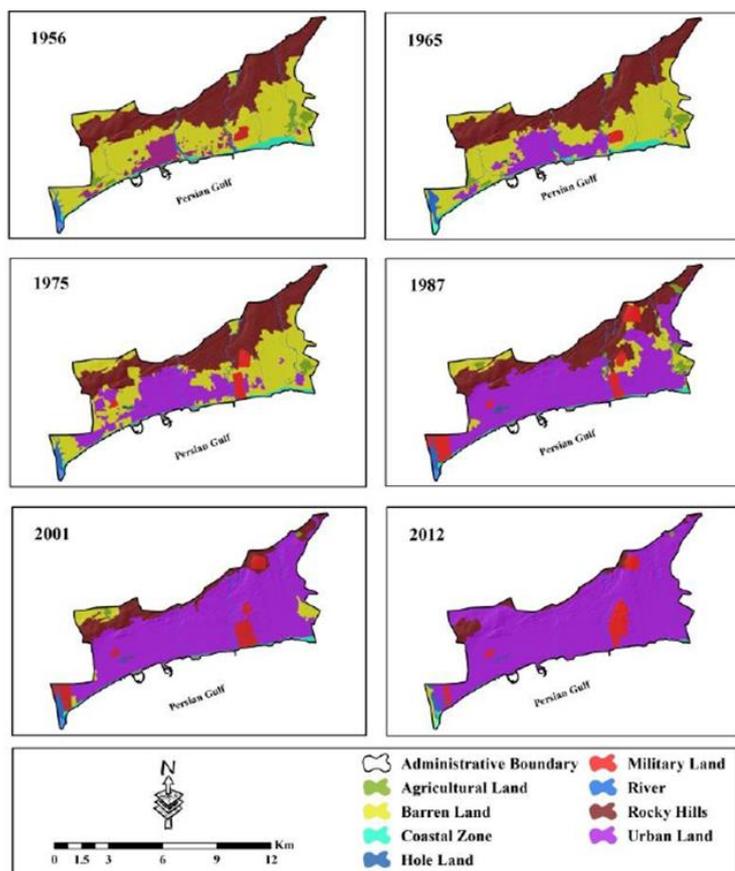


Рисунок 5. Увеличение урбанизированной территории для города Бендер-Аббас (Dadras, Helmi Shafri, Ahmad, Pradhan, Safarpour, 2014)

2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Выбор территории

Для проведения исследования были выбраны четыре города Балтийского региона: Рига, Санкт-Петербург, Таллинн, Хельсинки. Все они располагаются на побережье Финского или Рижского залива, которые в свою очередь являются частью Балтийского моря. Расстояние от Санкт-Петербурга до Риги 570 км, до Хельсинки 390 км, до Таллинна 370 км. В фондовых источниках Таллинна и Хельсинки есть сравнения городов между собой по демографическим, экономическим, социальным и другим областям (Helsingin tilastollinen..., 2020, TALLINN ARVUDES..., 2019). Для Санкт-Петербурга также интересно развитие приграничного сотрудничества и партнерства с соседями. За счет близкого расположения и схожести климата, города обмениваются опытом по планированию и развитию территорий (рис.6).

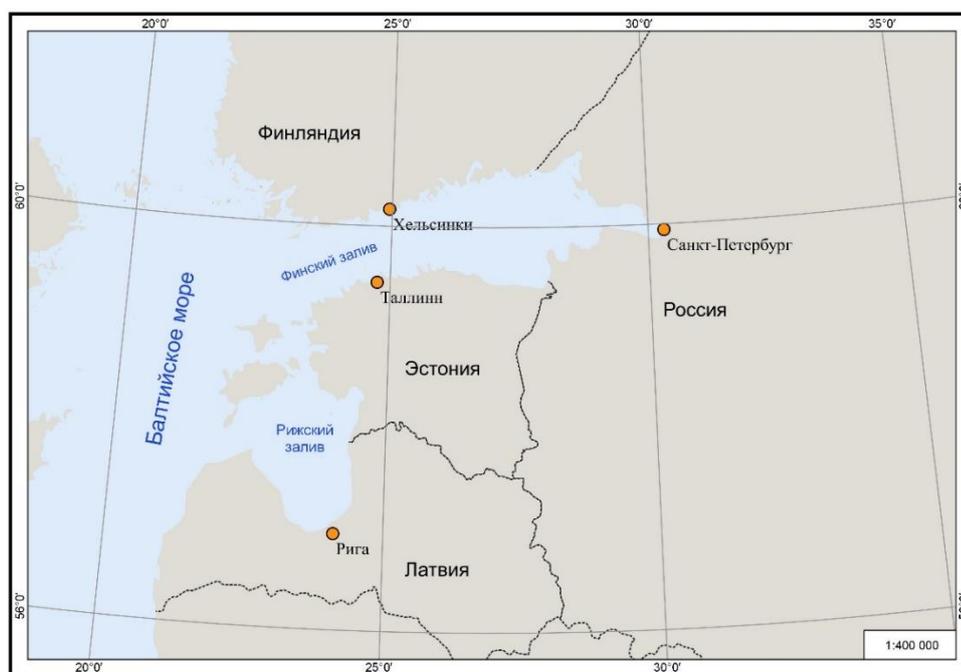


Рисунок 6. Расположение объектов исследования

2.2. Географическое положение и климат

2.2.1. Рига

Рига – столица Латвийской республики и крупнейший город стран Прибалтики. Основана в 1201 года немецкими рыцарями во главе с архиепископом Альбертом фон Буксгевденом в устье р. Ридзене, впадающей в р. Западную Двину (по-латвийски – р. Даугава). Центр Риги располагается на Ригавской равнине на берегах р. Даугавы, в 10 километрах от впадения ее в Рижский залив (рис.7). В 2014 г. город победил в номинации

культурная столица Европы (<https://www.riga.lv/ru>). Рига побратима с Таллином и Санкт-Петербургом.

Площадь города 304 км², из которых зеленые зоны 85 км² (28 %), а водоёмы: 47,5 км² (16 %). Наивысшая точка Риги - 28 м над уровнем моря находится в парке Dzegužkalns, занимающем всю территорию одноимённой дюны площадью 6,4 га. Оценивая по площади зелёных территорий, город считается одной из самых зелёных столиц Европы. В Риге также много различных зелёных территорий – парки, лесопарки, скверы, дворы, бульвары и др. На территории города расположены 9 озёр и прудов (<https://www.liveriga.com/ru/>).

Город располагается на Русской равнине с осадочным строением. Средняя высота города над уровнем моря 1 - 10 м. Южные и западные окрестности города относительно слабо заселены: обширные болота и топи некогда являлись естественной защитой города. Ландшафт сформировался под воздействием последнего ледникового периода и изобилует озерами и ручейками, а также песчаными формами рельефа. Климат в Риге умеренно морской за счет близости ее к морю. Воздушные массы с запада приносят обильные осадки и прохладную погоду летом, а зимой умеренно-холодную. Самый теплый месяц июль со среднемесячными температурами воздуха +18 – +20 °С, а самый холодный – январь со среднемесячными температурами от -3 - -5. Годовая сумма осадков составляет 700 – 800 мм. Рига расположена в зоне широколиственных лесов, но на песчаных равнинах и дюнах преимущественно хвойные леса (<https://www.liveriga.com/ru/>).

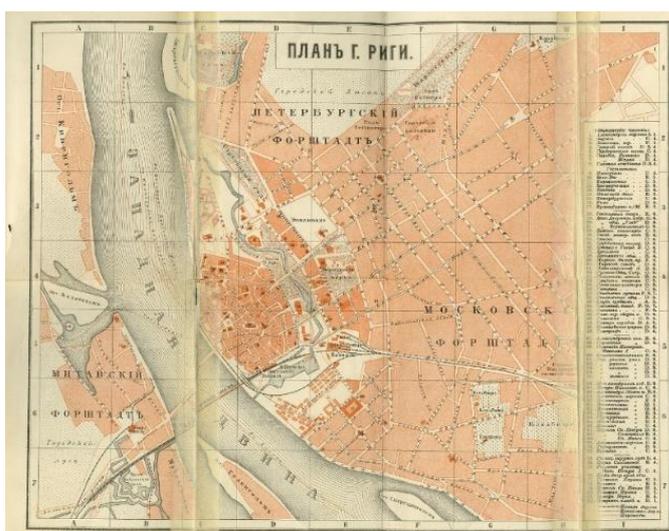


Рисунок 7. Слева план 1897 г., справа космический снимок в естественных цветах города Риги 2020 г.

2.2.2. Санкт-Петербург

Санкт-Петербург - город федерального значения в Российской Федерации (рис.8). С XVIII - XX века - столица Российской империи. Город основан 16 мая 1703 года первым российским императором Петром I. Санкт – Петербург расположен в устье р. Невы на островах и на берегу Финского залива в Приневской низменности. Почти вся территория города находится на низкой плоской равнине, изобилующей древними морскими террасами (<http://www.visit-petersburg.ru/ru/>). Города побратимы: Рига, Таллин и Хельсинки.

Санкт-Петербург протянулся в административных границах с северо-запада на юго-восток на 90 км. Площадь 1439 км² города. Самое высокое место в черте города — Дудергофские высоты в районе Красного Села с максимальной высотой 176 метров над уровнем моря. С начала XVIII в., когда было начато строительство города, и до настоящего времени поверхность в пределах города искусственно повышалась. В черте города растительность с водной поверхностью занимают 40 % территории города (<http://www.visit-petersburg.ru/ru/>).



Рисунок 8. Слева карта 19 в. и справа космический снимок в естественных цветах города Санкт-Петербург 2020 г

Город располагается на стыке Балтийского щита и Русской равнины. Древние породы перекрыты осадочным чехлом четвертичного периода. Климат умеренно морской за счет переноса воздушных масс запада, которые приносят обильные осадки и прохладную погоду летом, а зимой умеренно-холодную. Самый теплый месяц июль со среднемесячными температурами воздуха +18 – +20 °С, а самый холодный – январь со среднемесячными температурами от -4 - -6. Годовая сумма осадков составляет 600 – 700

мм. (<http://www.visit-petersburg.ru/ru/>). Естественно-растительный покров относится к зоне тайги, для которой характерно господство хвойных лесов – еловых и сосновых, которые по мере продвижения к югу постепенно переходят в смешанные леса с вкраплением широколиственных пород – дуба, липы, клена (Шиманюк, 1967).

2.2.3. Таллинн

Таллинн – столица Эстонской республики и крупнейший город страны. Согласно летописи Генриха, 15 июня 1219 года на месте города произошло сражение, в котором датчане одержали победу. Легенда гласит, что военная удача повернулась лицом к датчанам после того, как с неба упал красный флаг с белым крестом - Даннеборг, государственный флаг Дании сегодня. Датчане построили каменный замок на скале Тоотреа, и главный епископ Лунда Андреас Сунесен стал первым регентом Дании в Таллинне. Город располагается на южном берегу Финского залива (рис. 9). В 2011 году Таллинн победил в номинации культурной столицы Европы (<https://www.tallinn.ee/est/>). Город побратим с Ригой, Санкт-Петербургом и Хельсинки

Площадь Таллинна 159,3 км². В городе насчитывается около 50 парков, многие из которых расположены рядом со Старым городом. Наивысшая точка (64 метра над уровнем моря) находится на юго-западе города в районе Нымме. Таллинн является столицей бесплатного общественного транспорта с 2013 года и продвигает зеленые идеи по сокращению углеводородных выбросов. Город участвовал в рамках программы «Зеленая столица Европы 2022», но в финальной стадии конкурса потерпел поражение (https://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/news/EGCA_2022_EGLA_2021_finalists_announced.html). Вице-мэр Калле Кландорф сказал: «Таллинн относится к своим «зеленым» целям очень серьезно» (<https://www.tallinn.ee/est/>).

Город расположена на северо-западной окраине Восточно-Европейской равнины. Климат умеренно морской за счет расположения на заливе. Воздушные массы с запада приносят обильные осадки и прохладную погоду летом, а зимой теплую. Самый теплый месяц июль со среднемесячными температурами воздуха +18 – +20 °С, а самый холодный – февраль со среднемесячными температурами от -3 - -5. Годовая сумма осадков составляет 650 – 750 мм. Таллинн относится к северной части смешанных лесов с распространением хвойных на песчаных почвах (<https://www.tallinn.ee/est/>).



Рисунок 9. Слева карта конца 1939 г., справа космический снимок в естественных цветах города Таллин 2020 г.

2.2.4. Хельсинки

Хельсинки – столица Финляндской Республики и административный центр региона Уусимаа. Основан 12 июня 1550 года шведским королём Густавом Васой в районе Agrabia (сейчас район города). Но на эту территорию переселилось несколько сотен жителей и вскоре шведы перенесли из-за мелководной гавани поселение на территорию нынешнего центра в середине 17 века. В 1812 году после присоединения Финляндии к России Александр 1 объявил провинциальный Хельсинки столицей Великого княжества Финляндского (рис.10) (<https://www.hel.fi/helsinki/fi>). Хельсинки располагается на северном берегу Финского залива. Город побратим с Санкт-Петербургом и Таллином.

Площадь Хельсинки на 1 января 2020 года составляет 715,48 км², из которых 214,25 км² земля, 0,91 км² внутренние водоемы, а остальное 500,32 км² воды Финского залива. Из общей площади земли - 37,2 км² леса, 9,9 км² парки и около 8 км² ландшафтные поля или луга. На территории Хельсинки есть 42 природных заповедника площадью около 7,7 км². Самой высокой точкой города является холм Malminkartano, который создали искусственным способом из вывоза из котлованов фундаментной земли в 1976–1996 годах. Он поднимается на высоту 90 м над уровнем моря. Но самый высокий природный холм Хельсинки находится в северной части парка Kivikko, и составляет 62 м над уровнем моря. В Хельсинки насчитывается 317 островов.

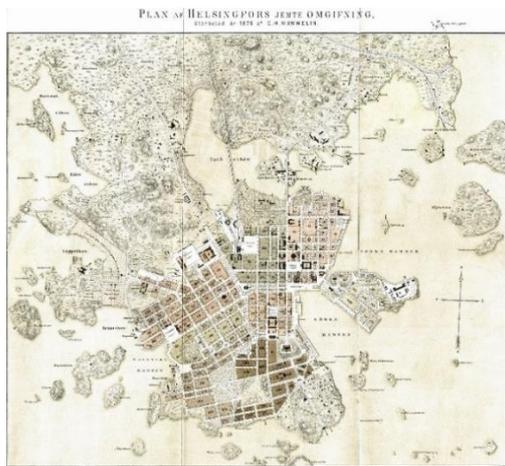


Рисунок 10. Слева карта конца 19в., справа космический снимок в естественных цветах города Хельсинки 2020 г.

Город полностью располагается на Балтийском щите с выходом коренных пород. Климат умеренно морской за счет расположения на заливе. Воздушные массы с запада приносят обильные осадки и прохладную погоду летом, а зимой теплую. Самый теплый месяц июль со среднемесячными температурами воздуха $+17 - +19$ °С, а самый холодный – февраль со среднемесячными температурами от $-2 - -4$. Годовая сумма осадков составляет $600 - 700$ мм. Хельсинки располагается в зоне тайги, для которой характерно преобладание хвойных лесов с распространением местами широколиственных пород деревьев (<https://www.hel.fi/helsinki/fi>).

3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

3.1. Методика исследования

Перед началом работ была формализована общая методика обработки данных (рис.11).

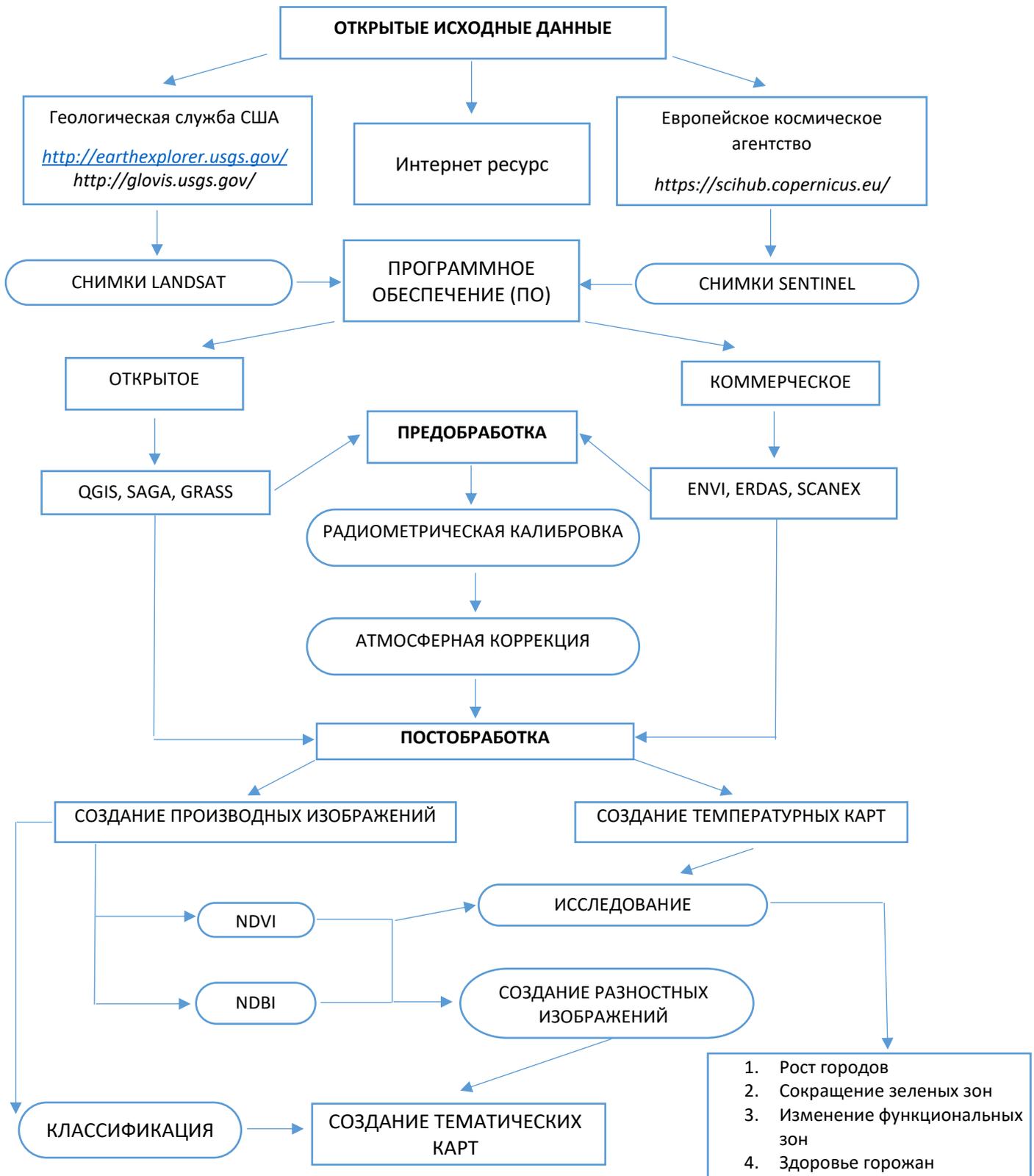


Рисунок 11. Общая блок-схема исследования

3.2. Материалы, использованные в исследовании

Космические данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в последние годы стали важной составляющей при решении многих задач. Регулярная съемка территорий позволяет проводить мониторинг природных явлений, развития городов, водных объектов и др. Данные можно получать на труднодоступные районы Земли. С помощью космоснимков можно обновлять средние и мелкомасштабные карты, строить тематические карты и др. Данные основываются на получении информации о поверхности земли путем фиксирования проходящего излучения, отраженного или собственного и предоставление их потребителям (Чандра, Гош, 2008)

Для решения задач были выбраны снимки американского спутника Landsat 8, которые находятся в свободном доступе. Landsat — один из первых и самый продолжительный проект съемки Земли из космоса. Первый из спутников в рамках программы был запущен в 23 июля 1972 г., на данный момент используется уже Landsat 8— выведен на орбиту 11 февраля 2013 г. Снимки, полученные со спутника по всему миру, являются уникальным ресурсом для проведения множества научных исследований в области картографии, геодезии, геологоразведки, сельского хозяйства, национальной безопасности. Период получения данных на данную территорию составляет 16—18 суток. Ежедневно спутник снимает порядка 400 сцен, которые после обработки в соответствии с текущим стандартом продуктов Landsat, хранятся в Центре хранения данных Геологической службы США (USGS), и затем снимки доступны пользователям (Landsat 8 ..., 2019).

Landsat 8 включает два съемочных комплекса: аппарат оперативной телевизионной съемки Земли (Operational Land Imager (OLI)) и тепловой инфракрасный датчик или тепловой инфракрасный сенсор (Thermal InfraRed Sensor (TIRS)) (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики данных со спутника Landsat 8

Спектральный канал	Спектральные диапазоны (мкм)	Разрешение (м)
Диапазоны OLI		
1 (побережья и аэрозоли)	0,433 - 0,453	30
2 (синий)	0,450 - 0,515	30
3 (зеленый)	0,525 - 0,600	30
4 (красный)	0,630 - 0,680	30

5 (ближний инфракрасный)	0,845 - 0,885	30
6 (коротковолновый инфракрасный)	1,560 - 1,660	30
7 (коротковолновый инфракрасный)	2,100 - 2,300	30
8 (панхроматический)	0,500 - 0,680	15
9 (перистые облака)	1,360 - 1,390	30
Диапазоны TIRS		
10 (дальний инфракрасный)	10,30 - 11,30	100
11 (дальний инфракрасный)	11,50 - 12,50	100

Съемочные комплексы в Landsat 8 представляют прорыв в технологиях. OLI улучшает предыдущие датчики Landsat. Он собирает данные для видимого, ближнего инфракрасного и коротковолнового инфракрасных спектральных диапазонов, а также для панхроматического диапазона. На приведенной ниже картинке (рис.12) сравниваются спектральные полосы OLI с полосами ETM + Landsat 7. OLI представляет две новые спектральные полосы, одна из которых предназначена для обнаружения перистых облаков (канал 9), а другая - для наблюдений в прибрежной зоне (канал 1) ([https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-overview.](https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-overview))

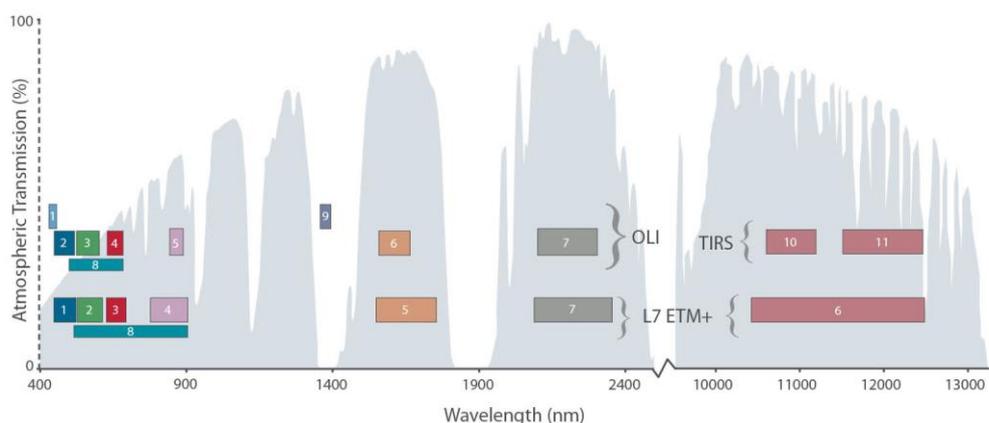


Рисунок 12. Сравнение длин волн каналов сенсоров Landsat 8 и Landsat 7 (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-overview>)

3.3. Исходные данные

До процесса скачивания снимков необходимо зайти на интернет ресурс USGS (Геологическая служба США), затем регистрируемся через GloVis или EarthExplorer, с помощью них осуществляется получение самих данных. Без регистрации заранее, получить отображаемые снимки не получится.

Существует два вида интерфейсов, через которые можно получить космоснимки. По нашему мнению, проще это сделать через GloVis, чем через EarthExplorer. GloVis имеет дружелюбный интерфейс и более понятен для нового пользователя (рис.13). После авторизации появляется окно просмотра по умолчанию на территорию США. Далее выбираем необходимую территорию, временной период, процент облаков и производим скачивание. Бесплатно предоставляются снимки со спутников Sentinel и Landsat, остальные за некоторую плату. Внизу шкала, которая показывает с какого момента спутник запущен и до какого времени он будет получать данные.

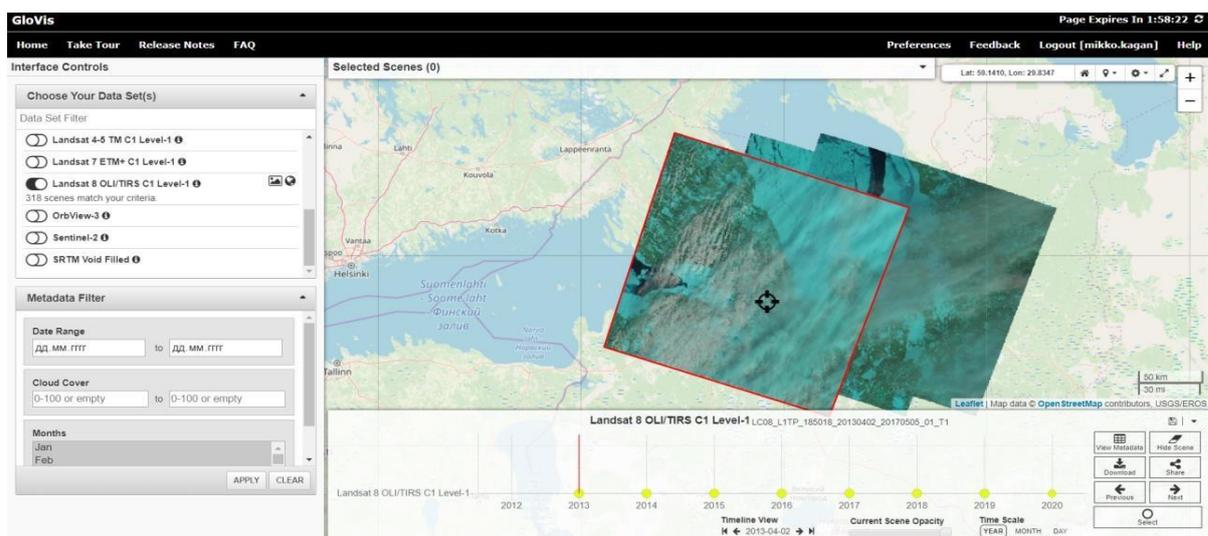


Рисунок 13. Интерфейс GloVis

При выборе космических снимков для исследования взят период с 2015 - 2020 год. Снимки отобраны весеннего периода, так как при расчете NDVI лучше всего выбирать это время года из – за того, что период цветения древесных пород дает наибольшие показания индекса (Шиманюк, 1967). В результате выбраны 6 наборов снимков для 4 городов (табл.2), так как Хельсинки и Таллинн располагаются в пределах одного космоснимка. Сведения о температуре воздуха получены из архива метеорологических данных интернет ресурса rp5 (<https://rp5.ru/>). Температура нам нужна для исследования островов тепла в городах.

Таблица 2. Температура воздуха на дату съемки

Город	Дата	Температура воздуха, °С
Санкт-Петербург	05.06.2015	+14.2
	02.06.2020	+15.8
Хельсинки	25.05.2015	+11.6
	22.05.2020	+14.3
Таллинн	25.05.2015	+15.3
	22.05.2020	+11.1
Рига	09.05.2015	+13.2
	31.05.2020	+19.1

3.4. Предобработка

Первый этап обработки спутниковых снимков заключается в радиометрической калибровке, с помощью которой космоснимки избавляют от искажений для построения произвольных изображений. Космоснимки, получаемые со спутников, представляют растры, у которых яркостные характеристики пикселей должны соответствовать отражательным способностям элементарных участков. После данного процесса значения пересчитываются в определенные величины, которые указывают на свойства земной поверхности. Искажения возникают из – за систематических ошибок в работе приборов, аппаратуры и другого (рис.14) (Landsat 8 ..., 2019).

Landsat хранит безразмерное нормализованное значение в каждом пикселе (Digital Number / DN), полученное после преобразований исходных данных, зафиксированных сенсором спутника. Но в каждом наборе данных числа могут оказаться несопоставимыми, поэтому обрабатывать их не нужно, такие данные можно применить только для визуального дешифрирования. Есть методы перевода нормализованных значений пересчитать в отражательную способность (reflectance) (. <https://gis-lab.info/qa/grass7-landsat8-processing.html>).

Следующим важным шагом является проведение атмосферной коррекции. Данные, поступающие на спутник о подстилающей поверхности, являются искаженными из – за многих факторов, главная из которых атмосфера. Это достаточно непростая среда, которая проявляется ввиду дымки, прозрачности атмосферы, отражение солнечных лучей и другое. В Большинство случаев данные являются

атмосферно скорректированы (Landsat 8 ..., 2019). Данный процесс автоматизирован, и алгоритмы рассчитываются исходя из усредненных показателей.

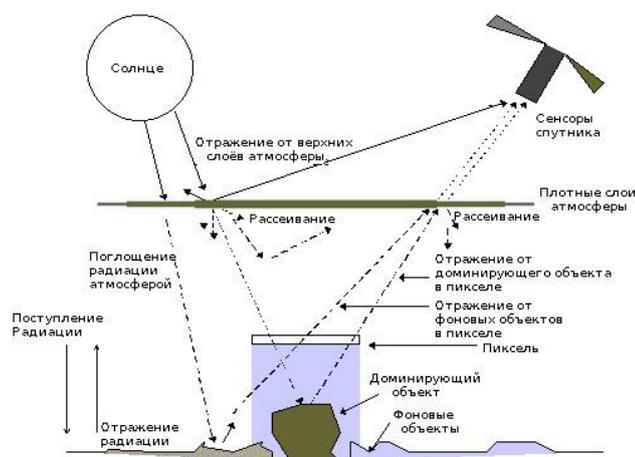


Рисунок 14. Факторы, которые оказывают влияние на попадание отраженной солнечной радиации на сенсоры спутника.

Предобработка выполнялась в программном продукте QGIS с помощью модуля Semi-Automatic Classification Plugin (рис.15). Плагин позволяет осуществлять контролируемую классификацию изображений дистанционного зондирования, предобработку и постобработку. В нем произвели радиометрическую калибровку и атмосферную коррекцию. В окне модуля выбрали предобработку (Preprocessing), далее необходимо выбрать спутник. Простота заключается в том, что обработка в автоматическом режиме. Требуется выбрать директорию с нашими снимками, метафайл и необходимые нам настройки и убрать лишние каналы. Потом выбрали директорию для сохраненных снимков.

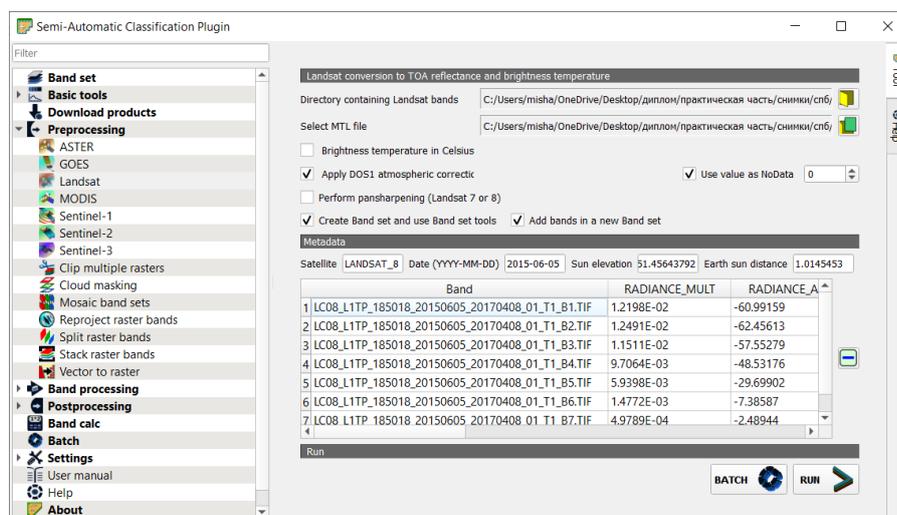


Рисунок 15. Окно модуля Semi-Automatic Classification Plugin

3.5. Постобработка

После предобработки мы перешли в программный комплекс ПК ENVI американского производителя. В нем удобно реализован процесс загрузки снимков и создание трехканального изображения. Можно менять каналы нажатием двойного щелчка. В QGIS это необходимо делать через виртуальный растр. Сначала необходимо склеить 3 канала, а затем в свойствах настроить порядок. Это крайне неудобно, если мы рассматриваем изображение в различной комбинации цветов и постоянно перебираем порядок каналов. Также проще в создании формул для различных индексов. Один раз создаешь, сохраняешь и подгружаешь. В QGIS это необходимо выполнять через калькулятора растров, постоянно прописывая формулу. В нашем исследовании произвели построение произвольных изображений.

Произвели расчет NDVI и NDBI для наших городов.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) — нормализованный относительный индекс растительности, посчитанный по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}, (1)$$

NIR - отражение в ближней инфракрасной области спектра

RED - отражение в красной области спектра

Согласно этой формуле, плотность растительности (NDVI) в определенной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей. В красной области спектра лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области находится максимальное отражение клеточных структур листа. То есть высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной (Статакис, Перакис, Савин, 2012). Для отображения индекса NDVI используется стандартизированная непрерывная градиентная или дискретная шкала, показывающая значения в диапазоне от -1...1 в %.

На панели инструментов Transform – NDVI. Затем выбираем файл в Select Input File и дальше в окне вкладки NDVI Calculation Parameters выбираем Landsat TM, указываем соответствие для красного и ближнего ИК каналов наших (рис.16). После этого сохраняем файл. Потом загружаем NDVI, который черно-белых тонов. В окне Image выбираем Tools – Color Mapping – ENVI Color Tables и подбираем цветовую

гамму, которая лучше отразит данные со снимка. Также можем поработать с фильтрами во вкладке Enhance в окне Image.

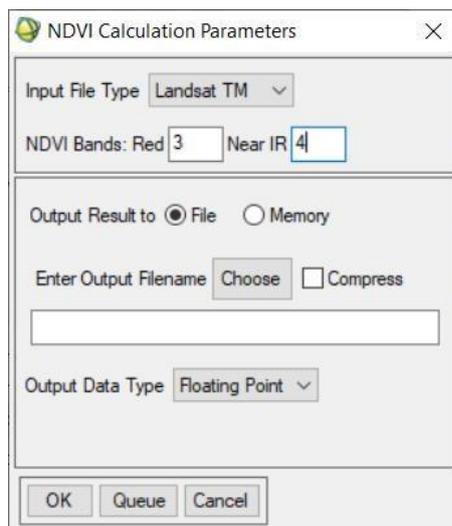


Рисунок 16. Окно NDVI Calculation Parameters.

Для расчета других индексов нет уже заготовленного расчета, кроме NDVI. Поэтому необходимо создать заготовку в виде формулы, чтобы рассчитывать другие индексы, к примеру, NDBI. Для этого есть функция Band Math, в которой прописываем необходимую формулу для расчёта.

NDBI (Normalized Difference Built-Up Index) - стандартизованный индекс различий для выделения областей застройки.

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}, (2)$$

SWIR - значения пикселей из коротковолнового инфракрасного канала

NIR - значения пикселей из ближнего инфракрасного канала

При расчете вся территория делится только на две группы: застроенная и незастроенная. Индекс способен отражать населенные пункты с точностью до 93%. Позволяет отображать застроенные участки с высокой степенью точности и объективности. Этот метод может служить для картирования городских земель.

Индекс не отделяет промышленную, деловую и жилую застройку друг от друга. В связи с этим сложно изучать редевелопмент в серых поясах города. Еще минус заключается в том, что открытая почва и песчаные земли интерпретируются с городской застройкой как единый объект. Связано это с тем, что городская территория и песчаная имеет одинаковую спектральную характеристику. Диапазон индекса от -1 ... 1% (Karanam, 2018).

Для расчета индекса NDBI и других, кроме NDVI, алгоритм заключается в создании формулы в диалоговом окне Basic Tools – Band Math. В строке Enter an expression записываем формулу индекса и нажимаем Add to List (добавление в список). Если данная формула необходима множества раз, то ее можно сохранить на будущее нажатием на кнопку Save (рис.17). После создания нажимаем ОК и переходим в окно, где к нашему выражению присваиваем значения каналов из списка. Далее появится окно для сохранения результата (рис.17). После выполнения команды можно провести фильтрацию данных или присвоить цветовую гамму.

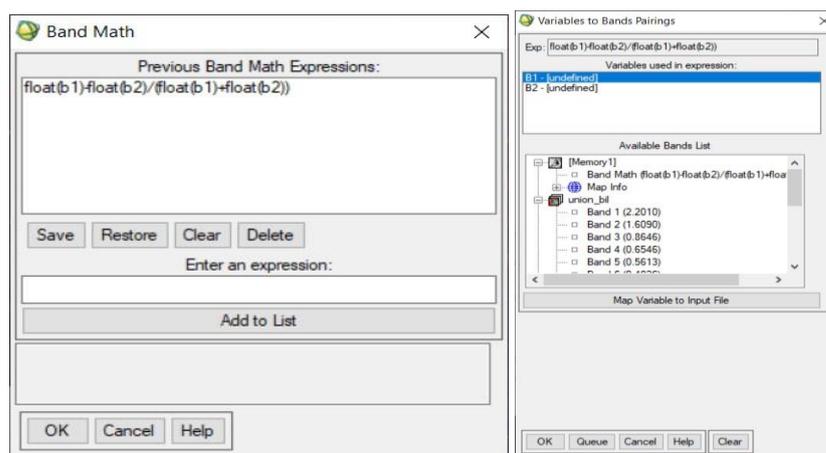


Рисунок 17. Окно написания формулы и окно присвоения каналов к выражению

3.6. Расчет температуры поверхности

Для построения карты температуры поверхности воспользовались одним из модулей QGIS Land Surface Temperature (рис.18). Тепловыми каналами считаются 10 и 11, но 11 значительно подвержен засветам, бликам и погрешностям.

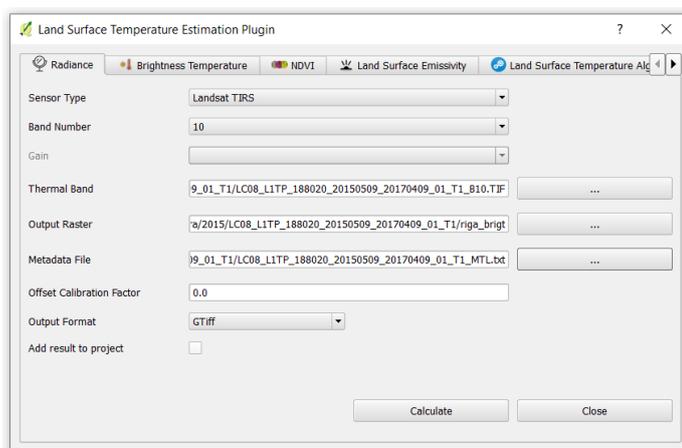


Рисунок 18. Модуль Land Surface Temperature

Сначала необходимо рассчитать спектральную яркость (radiance), которая рассчитывается по формуле:

$$L_{\Lambda} = M_L * BAND10 + A_L , (3)$$

Где L_{Λ} - спектральная яркость, M_L - мультипликативный масштабный коэффициент яркости для канала, A_L - коэффициент аддитивного масштабирования яркости для канала.

Выбираем спутник Landsat TIRS, 10 канал, подгружаем его и метафайл и сохраняем результат. Вторым шагом является вычисления яркостных температур поверхности (Brightness Temperature) используется следующее уравнение:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\Lambda}} + 1\right)}, (4)$$

Где L_{Λ} -спектральная яркость, K_1 и K_2 – тепловые константы из файла метаданных, а T -яркостная температура в °F.

Выбираем также Landsat TIRS, 10 канал, растр со спектральной яркостью, сохраняем результат и рассчитываем. Третьим этапом является расчет индекс NDVI, который у нас уже рассчитан выше, и этот шаг можем пропустить. Далее вычисляется параметр P_v (Proportion of vegetation), описывающий процент растительности:

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}\right)^2, (5)$$

На следующем этапе получаем отражательную способность земной поверхности по формуле:

$$e = 0,004 * P_v + 0,986 , (6)$$

Выбираем наш NDVI, сохраняем и рассчитываем значение.

На последнем этапе для вычисления температуры поверхности используется формула:

$$LST = \frac{T}{\left(1 + \left(\frac{\lambda}{c^2}\right) * \ln(e)\right)} - 273,15 , (7)$$

Где T -яркостная температура поверхности, λ -длина волны, e – отражательная способность земной поверхности.

$$c^2 = h * \frac{c}{s}, (8)$$

h – постоянная Планка, c – постоянная Больцмана, s – скорость света.

Для расчета температуры поверхности нам понадобится калькулятор атмосферных параметров из Интернет-ресурса (рис.19), так как в Landsat 8 данные являются псевдозначениями. Заполняем поля датой и временем, координатами центра нашего города, выбираем сезон года, спутник, температуру, давление и влажность на определенный день и высоту местности. Вводим email и получаем результат на почту. После этого возвращаемся в QGIS, выбираем Landsat 8 TIRS, 10 канал, записываем из результатов подходящую (Downwelling Radiance), отраженную радиацию (Upwelling Radiance) и состояние атмосферы (Atmospheric Transmission). Затем подгружаем растр из первого расчета про спектральную яркость, затем отражательную способность, выбираем градусы Цельсия и сохраняем результат.

Enter the parameters for which you wish calculate atmospheric transmission and upwelling radiance:

Year: Month: Day:
 GMT Hour: Minute:

Latitude: Longitude:
+ is North, - is South + is East, - is West

Use atmospheric profile for closest integer lat/long [help](#)
 Use interpolated atmospheric profile for given lat/long [help](#)

Use mid-latitude summer standard atmosphere for upper atmospheric profile [help](#)
 Use mid-latitude winter standard atmosphere for upper atmospheric profile [help](#)

Use [Landsat-8 TIRS Band 10 spectral response curve](#)
 Use [Landsat-7 Band 6 spectral response curve](#)
 Use [Landsat-5 Band 6 spectral response curve](#)
 Output only atmospheric profile, do not calculate effective radiances

Optional: Surface Conditions
(If you do not enter surface conditions, model predicted surface conditions will be used.
 If you do enter surface conditions, all four conditions must be entered.)

Altitude (km): Pressure (mb):
 Temperature (C): Relative Humidity (%):

Results will be sent to the following address:
 Email:

Рисунок 19. Калькулятор атмосферных параметров (<https://atmcorr.gsfc.nasa.gov>)

Итогом становится получение температуры земной поверхности в градусах Цельсия.

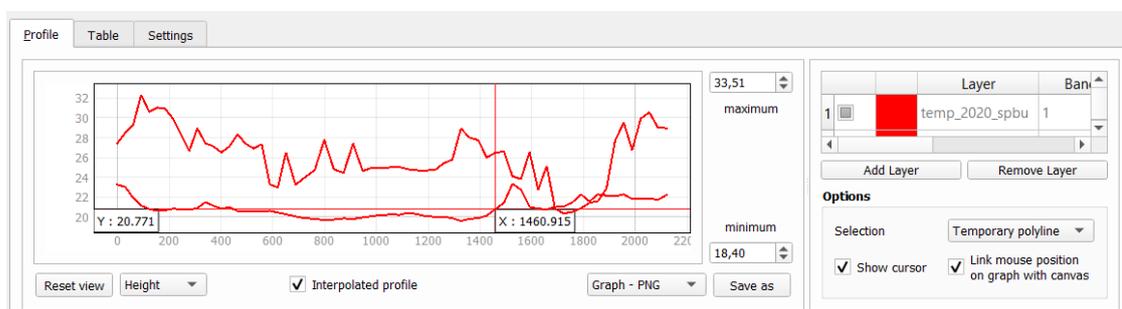


Рисунок 20. Модуль Terrain profile

Для более наглядного рассмотрения изменения температуры поверхности воспользуемся модулем Terrain profile в QGIS (рис.20). Загружаем необходимые слои для измерения с помощью Add Layer или удаляем через Remove Layer. По вертикали

откладывается температура поверхности в °С, по горизонтали расстояние в метрах проведенной нами линии по карте. Можем изменить представление в окне Height и поставить Slope в % или °С. Можно данные перевести в табличный вид- тогда переключаемся на вкладку Table. Сохранить график можно в формате PNG, SVG и DXF (2D или 3D line).

Модуль дает возможность рассмотреть изменение температуры на застроенной территории иным способом, так как визуально не просто оценить разницу в °С на снимках за определенный промежуток времени. Еще преимущество заключается в том, что позволяет спрогнозировать как повлияет новое строительство на определенном участке земли на температуру поверхности, взяв за пример похожую территорию со схожими условиями.

3.7. Создание разностного изображения

Для отражения динамики сокращения зеленых зон создали разностное изображение по индексу NDVI. Пробовали различные методы подхода, но индекс NDBI не давал четкого понимания особенно в промышленных частях города, где наблюдается редевелопмент территории, из-за пространственного разрешения в 30 м. Также есть вариант получения разницы из двух индексов (NDBI-NDVI, или наоборот), но это не отражало динамики изменения территории (Статакис, Перакис, Савин, 2012).

Для расчёта разностного изображения применим формулу:

$$d = S_1 * DN_1 - S_2 * DN_2 \quad (9),$$

где DN_1 и DN_2 – значения пикселей в соответствующих спектральных каналах (Методика мониторинга, 2010).

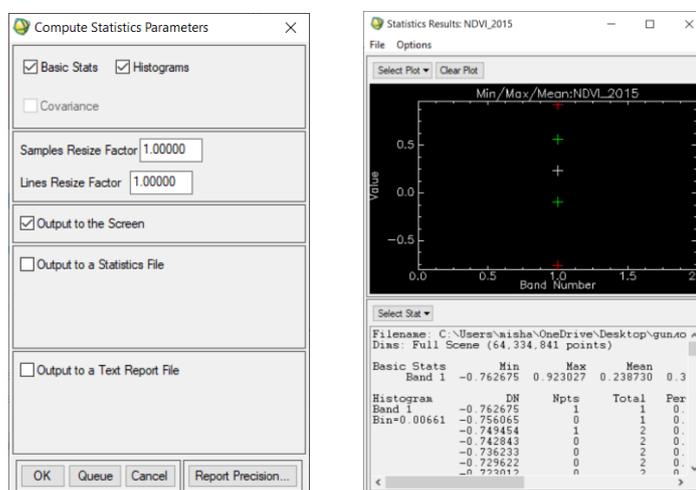


Рисунок 21. Расчет значения пикселей

Чтобы получить значения пикселей в соответствующих спектральных каналах воспользуемся ПК ENVI для построения графиков Basic Tools – Statistics – Compute Statistics, далее выбираем наш слой и в следующем окне ставим галочку напротив Histograms (рис.21). График можно сохранить в текстовый файл. Нас интересует для расчета значение Mean. Также производим и для второго снимка.

Разностное изображение NDVI для территории Санкт-Петербурга рассчитаем в QGIS с помощью калькулятор растра. Выбор территории Санкт-Петербурга связан с тем, что есть изменения, которые можно зафиксировать разрешением в 30 м. В остальных городах это небольшие участки земли, для которых необходимо более высокое разрешение. Выбираем Растр – Калькулятор растров. В появившемся окне в строке Raster Calculator Expression прописываем нашу формулу и сохраняем результат.

3.8. Анализ

Получив растр и исследовав его, мы провели переклассификацию на 2 значения: без изменения и с изменением. Действие собирались выполнить в QGIS с помощью команды `r.reclass`, где прописывали правила реклассификации, но программа не корректно выдавала результат. Поэтому перешли в ArcGIS, где с помощью Инструменты 3D Analyst – Переклассификация растра – Переклассификация успешно выполнили действие, разделив на 2 класса. После этого растр сконвертировали вектор, чтобы посчитать площади и посмотреть на сколько уменьшились зеленые зоны. Для этого воспользовались Конвертация – Из растра – Растр в полигоны. Перед этим территорию Санкт-Петербурга обрезали от водной поверхности, так как вода давала значения в пределах изменения на территории.

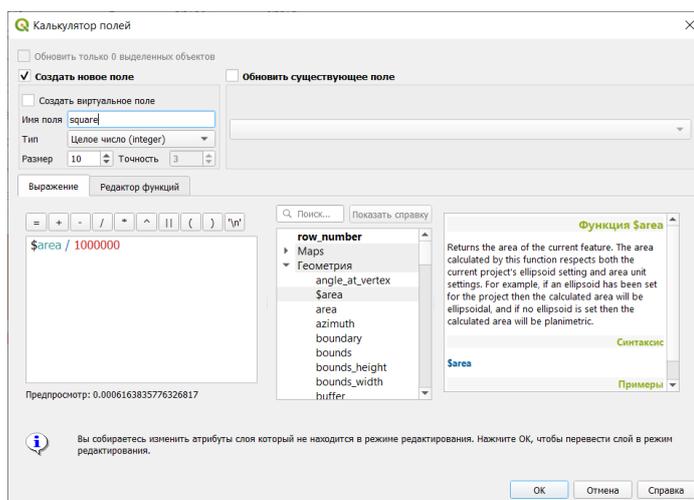


Рисунок 22. Окно Калькулятора полей

Для подсчета площади полигонов воспользуемся калькулятором полей в таблице атрибутов. В новом окне выбираем название файла, выбираем функцию, в нашем случае Геометрия - \$area (рис.22). Данные получаются в м², если необходимы другие единицы измерения, то умножаем или делим на необходимое число функцию. После этого подчистили шумы от ложных полигонов, например, поле было в зеленой траве, а потом решили распахать, отсюда ошибки, которые надо убрать. После полного проведения операции подсчитали на сколько уменьшились зеленые зоны (леса, сельскохозяйственные угодья и другое). Для подсчета воспользуемся функцией Вектор – Базовая статистика для полей, где выбираем слой и поле, по которому произведем расчёт.

Для анализа использовали также программу Google Earth Pro для визуального осмотра территории. Во-первых, с помощью программы удобно проследить изменение по снимкам (что было, что стало) с помощью функции исторических снимков, полезна в работе по убиранию шумов в разностном изображении. Во-вторых, есть функция симулятора полетов над различными территориями. 3D дома доступны на Хельсинки, на Ригу, Таллинн и Санкт-Петербург нет возможности такого просмотра. С помощью данной функции можно изучить город в плане застройки, расположения объектов и других моментов для понимания местности.

Также использовали для визуального анализа ENVI, рассматривая различия на обоих снимках. Удобность заключается в том, что можно сделать два окна и соединить их между собой, что гораздо сильно упрощает работу. Для этого надо загрузить два снимка и разграничить их по дисплеям внизу по загрузке. В окне Screen выбираем Tools – Link – Link Displays. Двойным нажатием мыши можно различать, как меняется картинка с соседним годом.

Карты оформлялись в QGIS и производилось их оформление в макете.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1. Изучение фондовых данных

Из анализа фондового материала статистического центра города Хельсинки составили диаграммы изменения численности, плотности населения и площади городов Балтийского региона. Самая низкая плотность наблюдается в Хельсинки, а наибольшая в Санкт-Петербурге. Также высокая в Таллинне и Риге (рис.23).

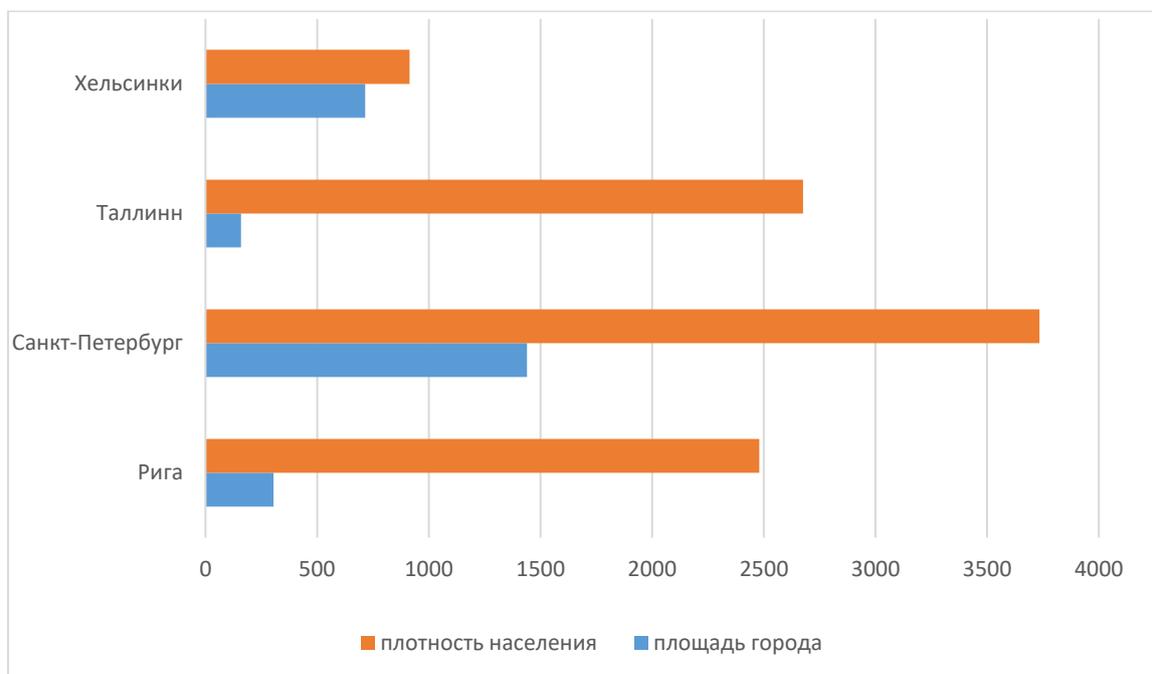


Рисунок 23. Площадь и плотность населения городов (Helsingin tilastollinen..., 2020)

По графику (рис.24) можно заметить увеличение численности населения в Хельсинки, Санкт-Петербурге и Таллинне. В Риге наблюдается серьезный спад после 1990 г, который на данный момент замедлился. Если в Санкт-Петербурге, Таллинне наблюдалось сокращение населения после 1990 годов, то в Хельсинки был постоянный рост жителей. Уменьшение численности в Латвии, Эстонии и России в 1990 –е годы связано с распадом Советского союза, открытием границ, экономическим и социальным кризисом.

К 2035 году население Хельсинки по прогнозам вырастет примерно на 100 тыс.чел. и составит 750 тыс.чел.(Helsingin tilastollinen..., 2020). В Санкт-Петербурге ожидают свыше 6 млн чел. к 2035 году по данным Петростата. В Таллинне к 2035 году численность составит 467 тыс.чел. по прогнозам, что является меньшим числом, чем в 1990 году, когда было 479 тыс.чел. (TALLINN ARVUDES..., 2019). У Риги перспективы

удручающие, к 2030 году население упадет до 600 тыс.чел. и к 2050 возможно будет 545 тыс.чел. согласно данным института экономики Латвийской академии наук.

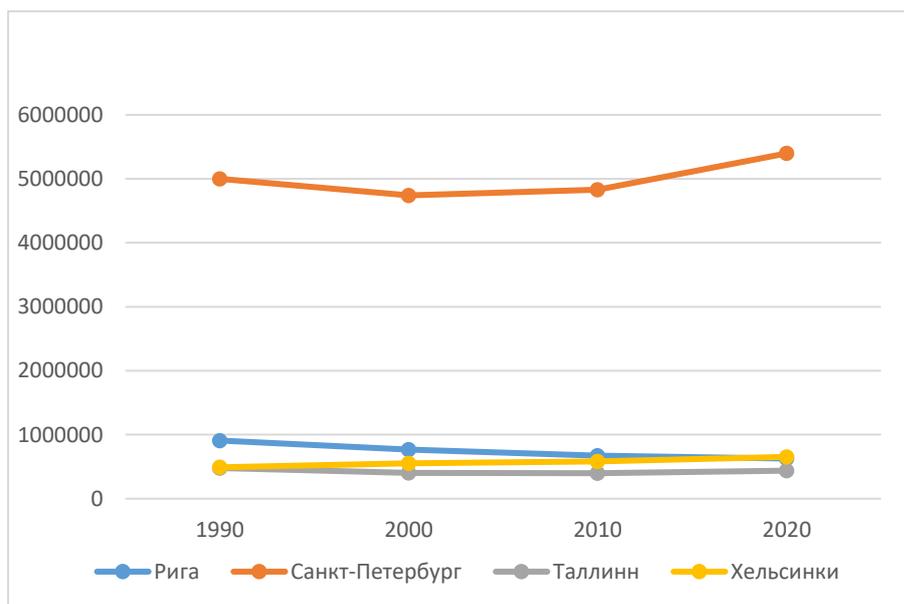


Рисунок 24. Изменение численности населения с 1990-2020 г.

(Helsingin tilastollinen..., 2020,)

Увеличение местных жителей, миграция из сельской местности в городскую приводит к спросу на недвижимость, следовательно, надо производить застройку новых земель или редевелопмент «серых поясов» городов, развивать социальную инфраструктуру (школы, детские сады, поликлиники), запускать общественный транспорт в новые кварталы, производить благоустройство окружающих земель.

4.2. Санкт-Петербург

В ходе расчета индекса NDVI в Санкт – Петербурге за 5 лет было выявлено уменьшение зеленых зон как в черте города, так и на границах (рис.25, рис.26). Во всех случаях это связано с расширением и строительством новых кварталов в различных частях города. Зеленые зоны важны за счет того, что они очищают воздух в городе и являются местом отдыха горожан. Также растительность помогает охлаждать пространства в теплый период времени года. В довоенное время город развивался на юг, из-за близкого расположения границы на севере с Финляндией по реке Сестре. В связи с этим на севере оставалась в основном частная застройка и развития не было, поэтому сохранилось большое количество лесных массивов (Новоорловский заказник, парк Сосновка, Удельный парк, Пискаревский лесопарк). На юге города зеленые зоны организованы в послевоенное время, например, парк Интернационалистов, Московский

парк Победы, Пулковский парк. В центре недостаточно зеленых зон для отдыха горожан, среди них можно выделить Летний сад, Таврический сад, ЦПКиО им. Кирова на Елагином острове и Приморский парк победы. На Васильевском острове наблюдаются проблемы, многие жители используют для прогулок Смоленское кладбище как парк, из крупных садов есть Василеостровец.

На карте выделяются районы с послевоенной застройкой. Связано это с тем, что средняя высота деревьев 25 - 30 м. Если примерно взять высоту этажа как 3 м., то получится что пятиэтажные 15 м., девятиэтажные 27 м. Итог таков, в районах застройки пятиэтажными домами, крона будет скрывать имеющиеся пространства внизу и будет выше крыши здания. Если девятиэтажными, то высота кроны и дерева примерно будет одинаковой. Такие районы имеют на карте много зелени, нежели современные, когда строят по 15 – 25 этажей без озеленения прилегающей территории.

Во время исследования замечено строительство в различных районах города. Можно выделить к примеру застройку бывших сельскохозяйственных угодий на территории Каменки, Новой Охты, на месте небольшого массива леса и сельхоз угодий рядом с заказником Новоорловский. На юге города также сокращение хозяйственных угодий на границе Красносельского и Петродворцового района, строительство у Финского залива.

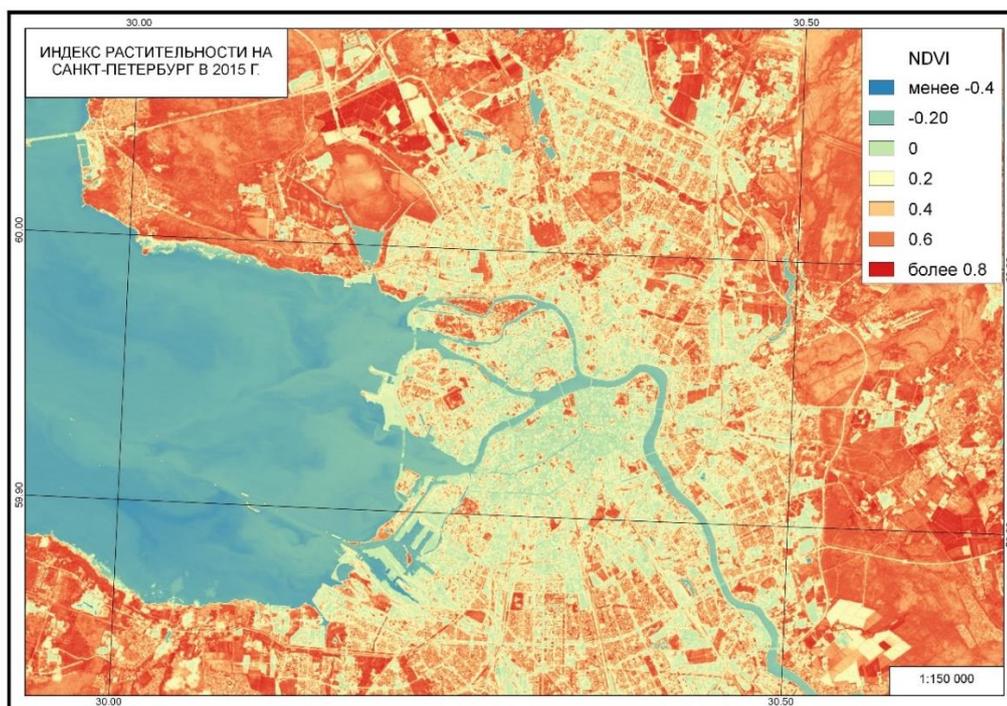


Рисунок.25 NDVI на Санкт-Петербург в 2015 г.

В городе не достаточное озеленение улиц, чтобы не прерывался зеленый каркас. Острая проблема складывается и в новых районах с растительностью, так как сейчас при строительстве практически не высаживают деревьев.

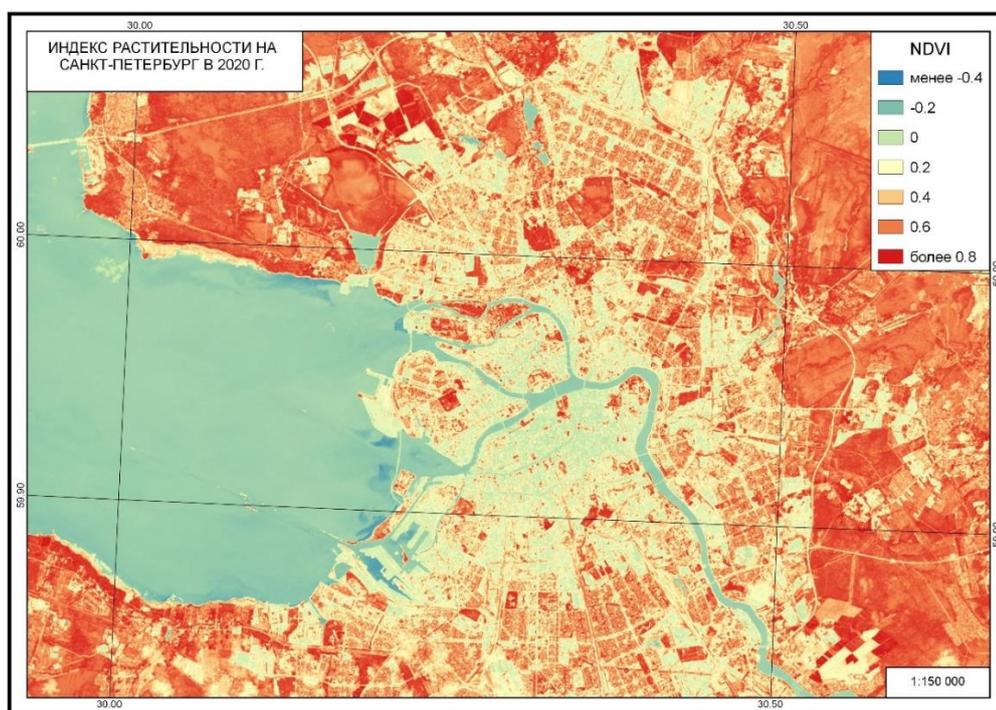


Рисунок 26. NDVI на Санкт-Петербург в 2020 г.

По NDBI в Санкт – Петербурге за 5 лет было выявлено увеличение площади застройки новых территорий (рис.27, рис.28). На Васильевском острове произвели расширение, за счет намывной территории и начали строительство жилых комплексов. Недавно появилась информация о том, что планируют намыть около 140 га новых земель в северной части острова для дальнейшей застройки новыми кварталами (<https://reality.rbc.ru/news/5f5b2e869a7947e378bc8efb>). Также завершилось строительство автомобильной дороги на западе – Западного скоростного диаметра. Выше говорилось уже о застройке на месте зеленых зон в районе Каменки, Новой Охты, рядом с Новоорловским и др. На снимках видны высокие показатели индекса на намывной территории, так как песчаные и открытые земли (поля, пустыри) имеют одинаковую спектральную характеристику с городской (рис.27, рис.28). Хорошо прослеживается высокая плотность в центре, в промышленных зонах и новых кварталах. Но индекс не дает понимания при рассмотрении «серых поясов», так как уже многие производственные территории сменили свое функциональное значение под деловую и жилую застройку.

На данный момент Приморский район удерживает лидерство по спросу и объему предложения, за счет строительства в Каменке и Новоорловском (<https://living.ru/spb/expert/research/lakomyj-kusocek-perspektivy-razvitiya-territorij-kamenki/>). Дальнейшее строительство продолжится, что скажется сугубо на инфраструктуре района и зеленых зонах, которых становится все меньше и меньше, а город расплзается в различных направлениях хаотичной застройкой, которую мало кто контролирует.

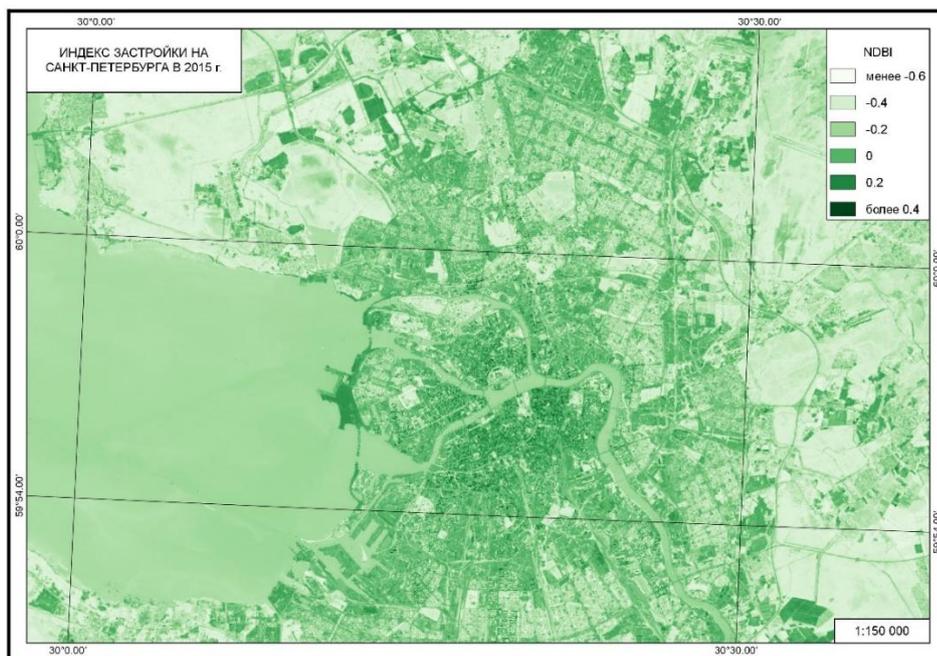


Рисунок 27. NDBI на Санкт-Петербург в 2015 г.

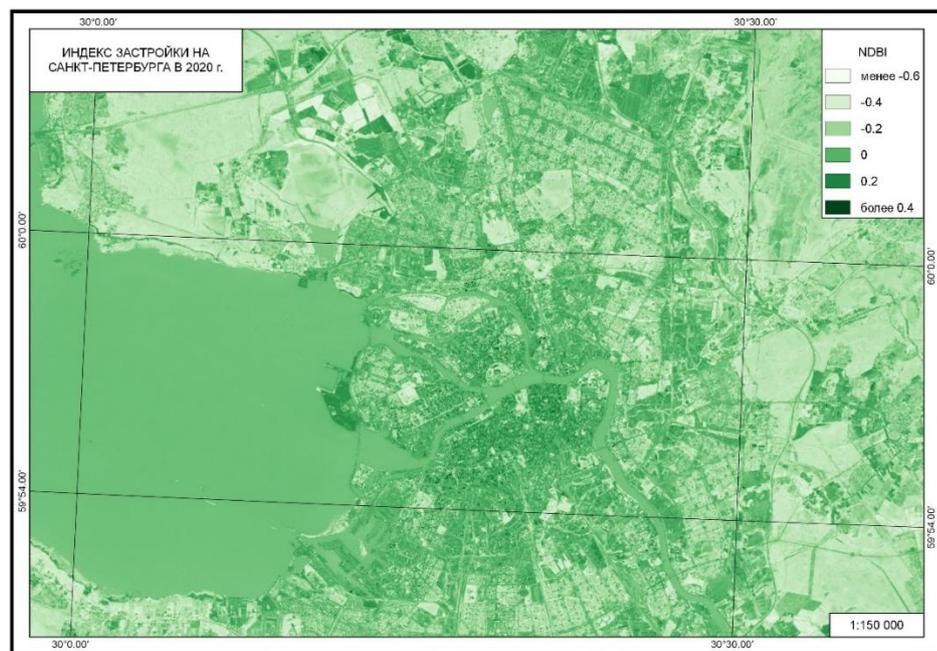


Рисунок 28. NDBI на Санкт-Петербург в 2020 г.

По тепловым снимкам несложно заметить, что большая часть территории города попадает в зону аномально повышенной температуры по сравнению с окружающими территориями. Острова тепла располагаются в «сером поясе» города, на открытых пространствах, где поверхность покрыта асфальтом, новые жилые кварталы и особенно склады/магазины с прилегающей парковкой. За 5 лет видны новые участки повышения температуры в городе (рис.30, рис.31). Если взять новые жилые кварталы, которые описывались выше, можно говорить о том, что температура поверхности выросла на 5-10 °С по сравнению с тем, что на ней было. Парки, лесные массивы, поля, озеленение улиц, водные пространства помогают бороться с увеличением тепла на определенном участке. Для примера рассмотрим Новую Охту, которая в 2015 году имела сельскохозяйственные угодья. В 2020 были построены дома и продолжается строительство по сегодняшний день. В начале профиля (рис.29) видно повышение температуры на 10 °С – в этом месте располагается склад/магазин с прилегающей к нему парковкой. В конце графика 4 наблюдается примерно одинаковая температура, что может говорить о зелени или о том, что территория не была изменена.

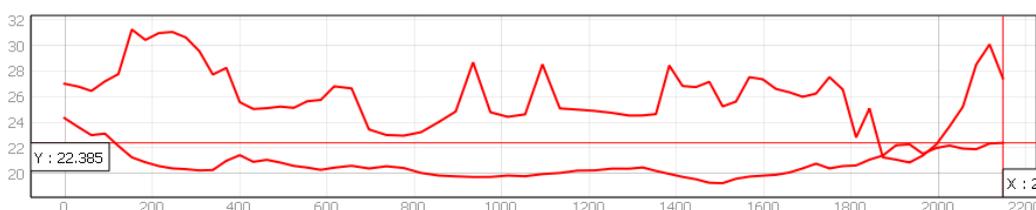


Рисунок 29. Изменение температуры на застроенных участках за 5 лет

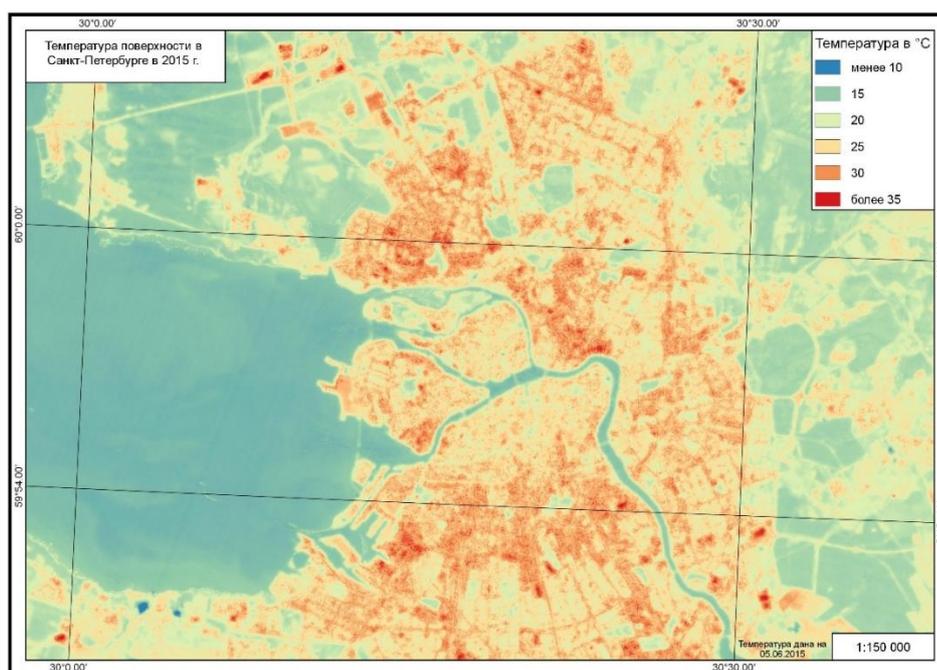


Рисунок 30. Тепловая карта на территорию Санкт-Петербурга на 2015 г.

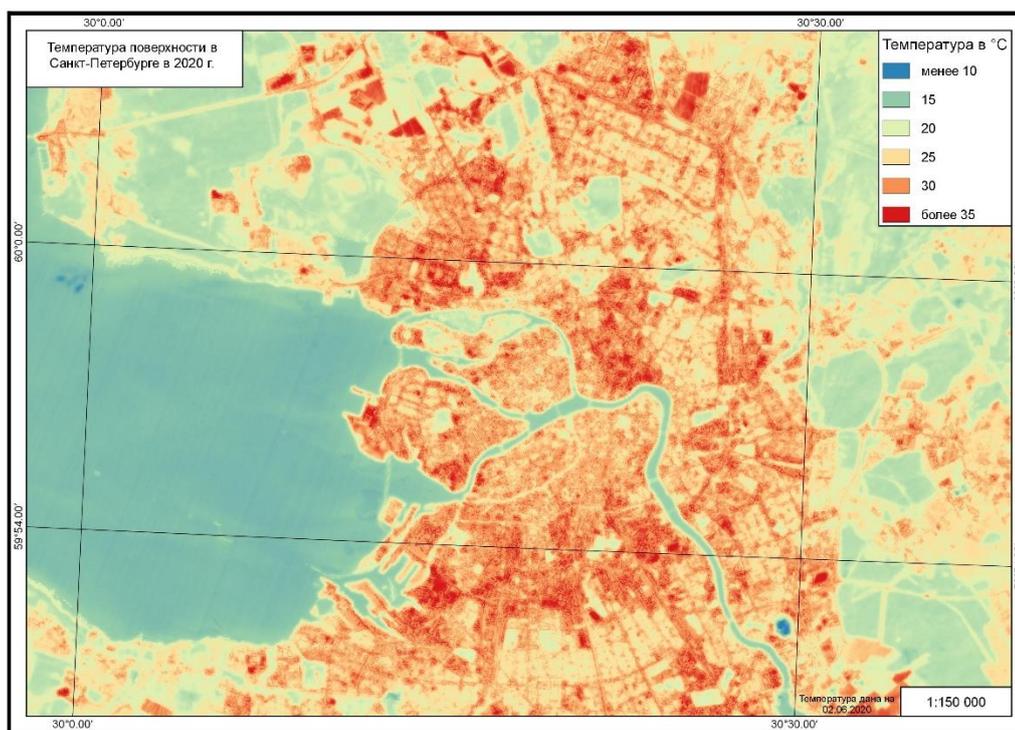


Рисунок 31. Тепловая карта на территорию Санкт-Петербурга на 2020 г.

4.3. Хельсинки

В ходе расчета индекса NDVI в Хельсинки за 5 лет было выявлено незначительное уменьшение зеленых насаждений (рис.32, рис.33). В Финляндии очень тщательно при строительстве производят работы, не вырубая все для новой застройки, а только те деревья, которые мешают при постройке. Так как в местности уже есть сформировавшейся зеленый массив, а если посадить новые деревья, то чтобы они достигли прошлых размеров уйдут десятилетия. Можно отметить количество небольших скверов и парков в центре, например, Kaivopuisto, Meripuisto, Kaisaniemi, Töölönlahden puisto хороший зеленый каркас с запада и с севера города в виде череды парков, которые перетекают друг в друга. Многие небольшие острова остались незастроенными и могут также не иметь сухопутного сообщения, кроме водного.

На окраинах очень много растительности. Связано с тем, что многие финны живут в частных или в малоэтажных домах, а они при постройке не требуют серьезной площадки под строительство вокруг, что дает возможность аккуратно встроить жилые дома в гармонии с природой. Есть небольшие уменьшения растительности в районе Lauttasaari, Kamppi на западе, Kallio, Laajasalo, Herttoniemi Malmi и Vuosaari на востоке и северо-востоке города. Нехватка растительности есть на севере района Pasila и бывших промышленных окраинах (Kalasatama, Jätkäsaari) в районе Kallio и на юге района Kamppi.

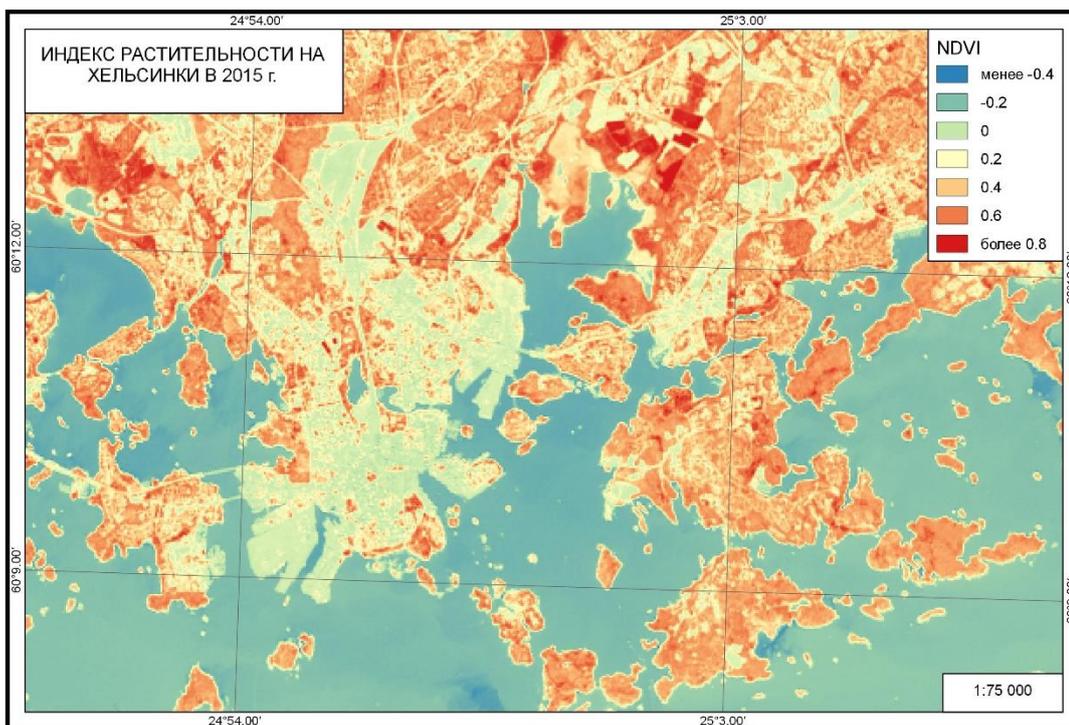


Рисунок 32. NDVI на Хельсинки в 2015 г.

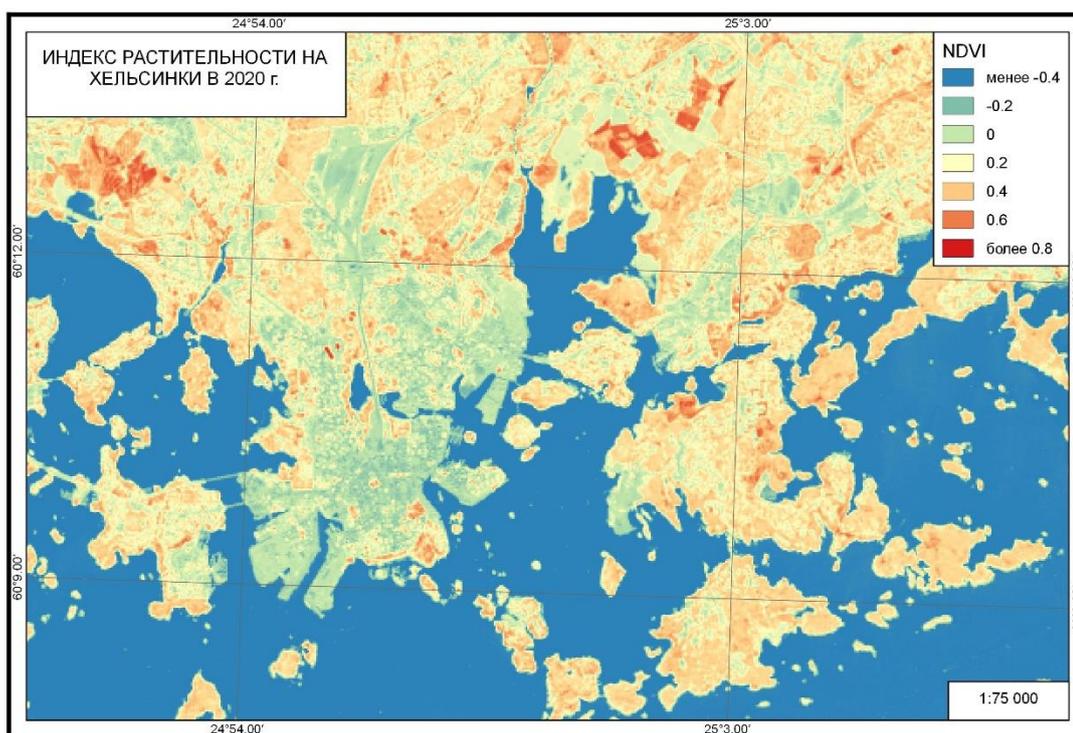


Рисунок 33 NDVI на Хельсинки в 2020 г.

По NDBI в Хельсинки за 5 лет было выявлено увеличение площади застройки новых территорий (рис.35, рис.36). Особенно это касается новых кварталов в районе Kalasatama и Jätkäsaari. На месте новых домов располагались производственные площадки и порты, но со временем начался редевелопмент, увеличили немного

намывные территории и спустя некоторое время начали застройку местности. По снимку можно увидеть появление более четких контуров в данных районах, за счет того, что раньше там была пустая земля, которая дает нам высокий индекс застройки.

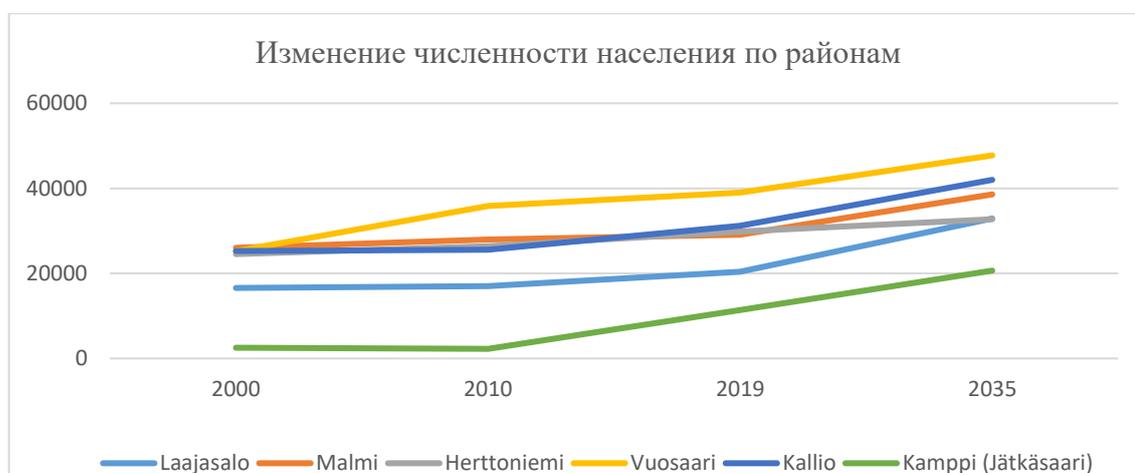


Рисунок 34. Изменение численности населения в районах, где планируют застройку (Helsingin tilastollinen..., 2020)

При рассмотрении графика (рис.34) видно, что в Jätkäsaari идет рост численности после 2010 г. В других районах также видны изменения населения, а при росте численности горожан по графику (рис.24), можно говорить о том, что им понадобится в ближайшей перспективе жилье.

Увеличение застройки в ближайшее время будет наблюдаться в районе Laajasalo, там даже произвели небольшой намыв территории для организации небольшого порта. В связи с продолжающимся новым строительством в будущем, в район проведут новый мост, но только с трамвайным и велосипедным движением, а также для пешеходов (<https://yle.fi/uutiset/3-11937531>). Планируя заранее новые кварталы, мэрия подготавливает необходимую инфраструктуру для района. В Vuosaari и Kallio к примеру, есть ветка метро. В новые кварталы района Kamppi подвели трамвайную сеть. В ближайшей перспективе собираются увеличить застройку в Malmi и Herttoniemi. В первом имеется железнодорожная ветка, а во втором метро.

Город не разрастается хаотично, есть перспективные планы на ближайшие годы, чтобы развивать территории равномерно и готовить заранее необходимую инфраструктуру и подведение транспорта в новые кварталы.

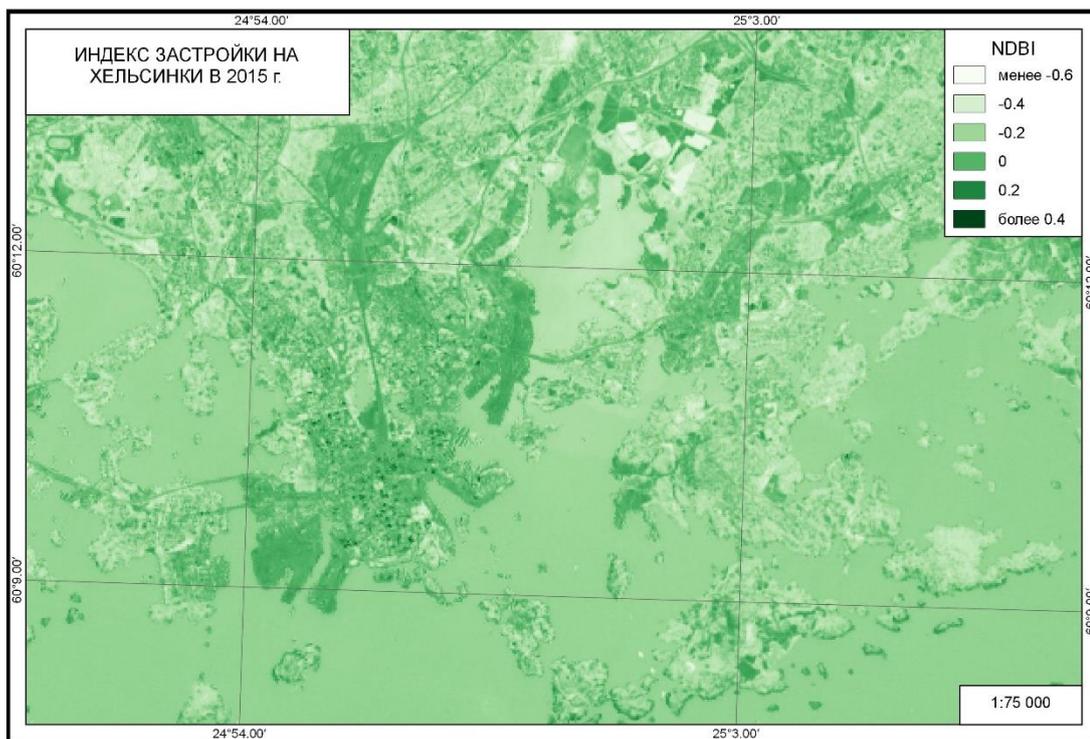


Рисунок 35. NDBI на Хельсинки в 2015 г.

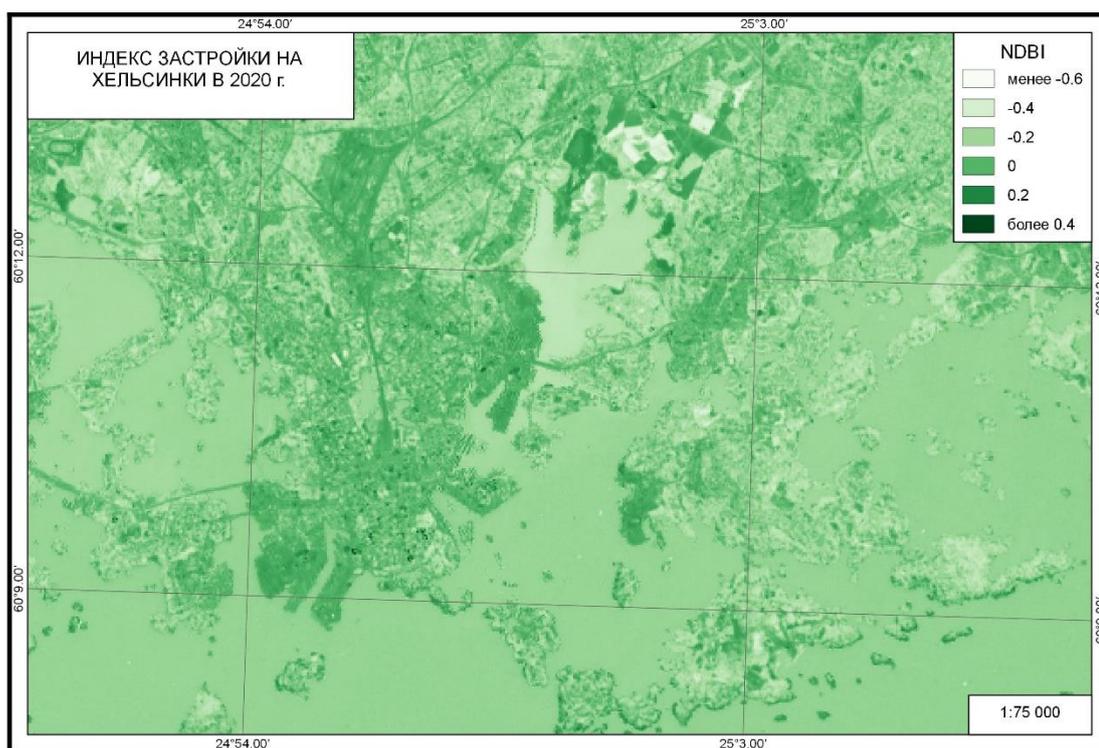


Рисунок 36. NDBI на Хельсинки в 2020 г.

По тепловым снимкам несложно заметить, что большая часть территории города попадает в зону аномально повышенной температуры по сравнению с окружающими территориями (рис.38, 39). В первую очередь это склады, стадионы, торговые комплексы с прилегающей парковкой, асфальтовые поля, здания с темными крышами являются

источниками возникновения островов тепла по сравнению, например, озелененных кварталов, дорог и т.д. Можно заметить небольшие повышения температуры на застроенных территориях примерно на 5 °С с тем, что на ней было. Рассмотрим профиль (рис.37), на нем профиль Jätkäsaari в районе Камппи, который застраивается новыми кварталами на месте бывших портовых складов, территория была очищена в последнее время под застройку. По профилю (рис.37) видны небольшие изменения от привычного распределения температуры в середине и немного в начале. Это может нам говорить о застройке территории, так как в конце видна примерная схожесть линий.

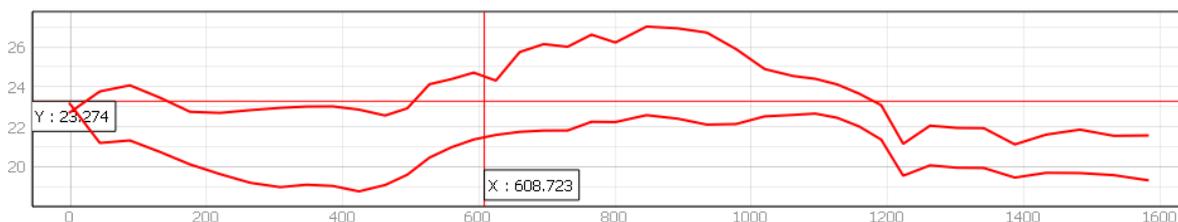


Рисунок 37. Изменение температуры на застроенных участках за 5 лет

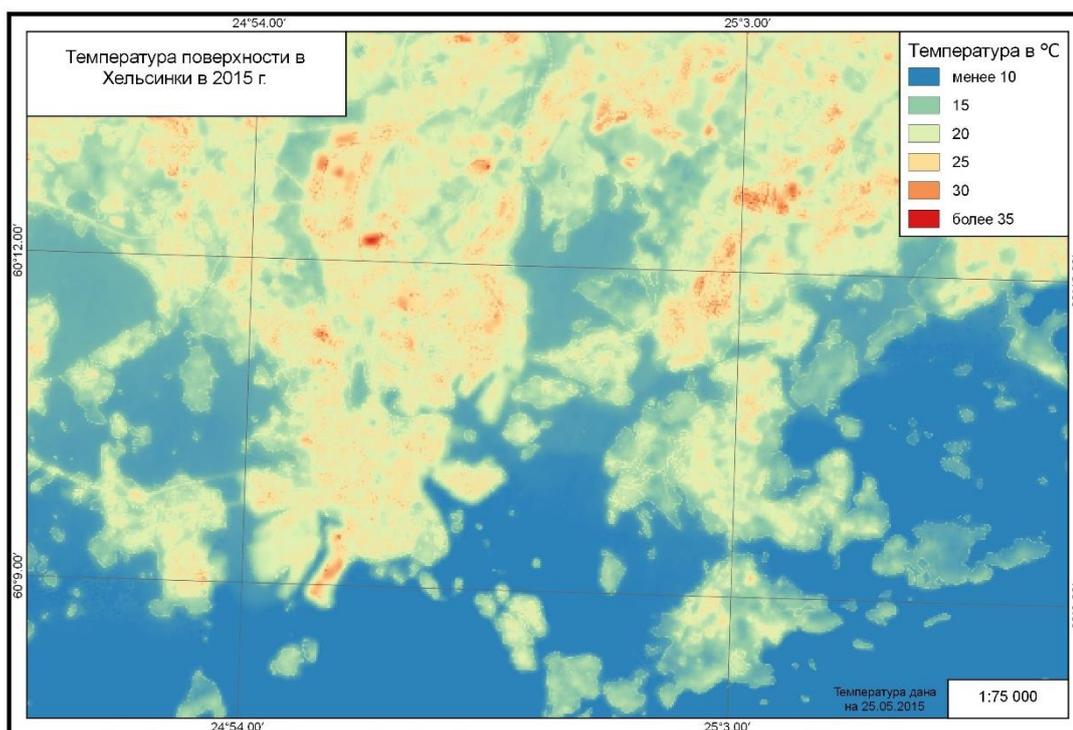


Рисунок 38. Тепловая карта на территорию Хельсинки в 2015г.

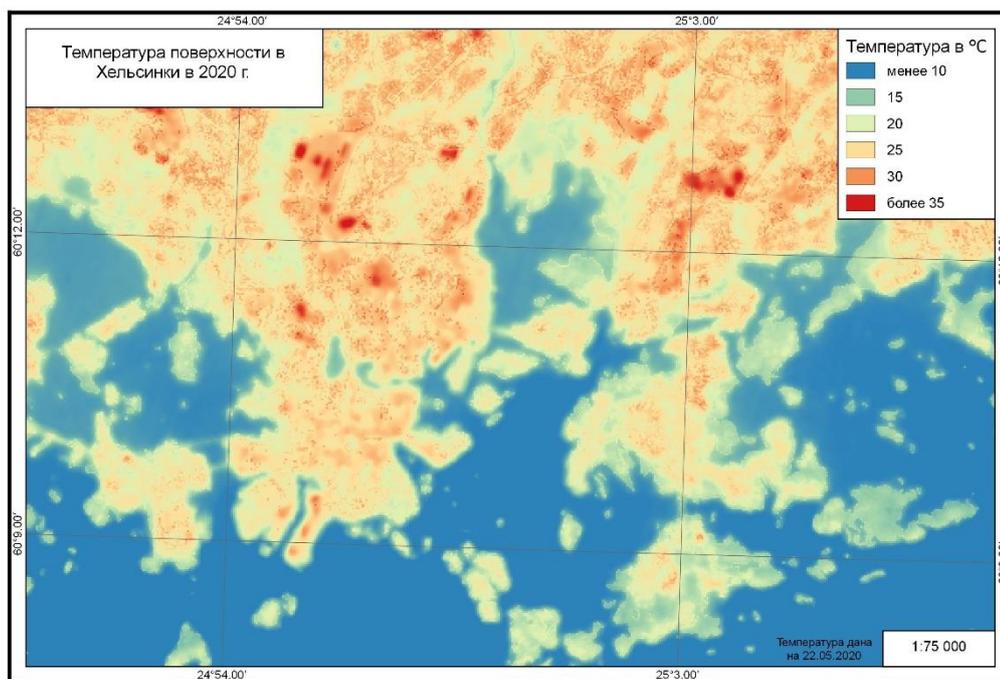


Рисунок 39. Тепловая карта на территорию Хельсинки в 2020г.

4.4. Таллинн

В ходе расчета индекса NDVI в Таллинне за 5 лет не выявлено уменьшение зеленых насаждений (рис.40, рис.41). Есть небольшие изменения в разных частях, но они с трудом уловимы.

Мэрия занимается зелеными зонами и добивается хороших результатов, например, 81 % жителей Таллинна и 68 % жителей центра города проживают в пределах 300 метров от ближайшей зеленой городской территории площадью более 5000 м². Город с 2005 года реализовал план развития зеленых насаждений, что дало парковым зонам эстетичность и большой функционал. За 10 лет город реконструировал 21 парк, площадью примерно 158 га, что составило почти 50 % от всех парков в пределах города. Новый документ развития был принят в 2013 году со стратегией до 2025 г. (<https://www.tallinn.ee/est/>).

По снимкам (рис.40, рис.41) мы отмечаем высокий уровень зеленых зон, как в центре, так и на окраине города. На востоке располагается крупный парк Кадриорг и заповедник Пирита. На юге и западе города малоэтажная застройка с небольшими парковыми зонами в ней и промышленным районом, который выделяется на западе города. Вокруг исторического центра располагается хороший зеленый массив.

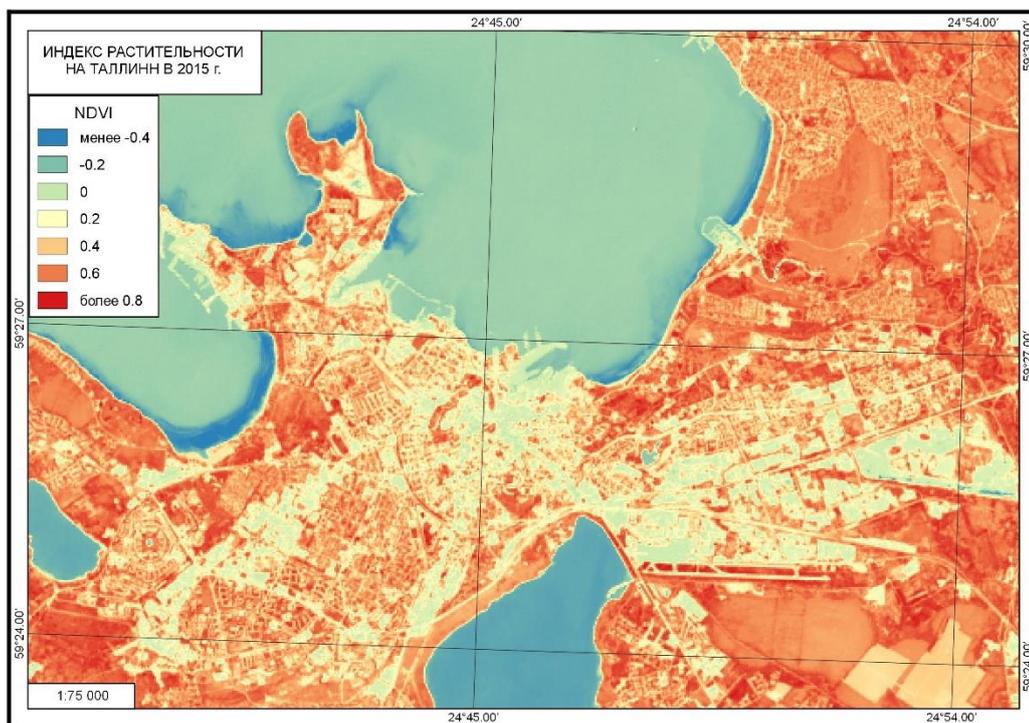


Рисунок 40. NDVI на Таллинн в 2015 г.

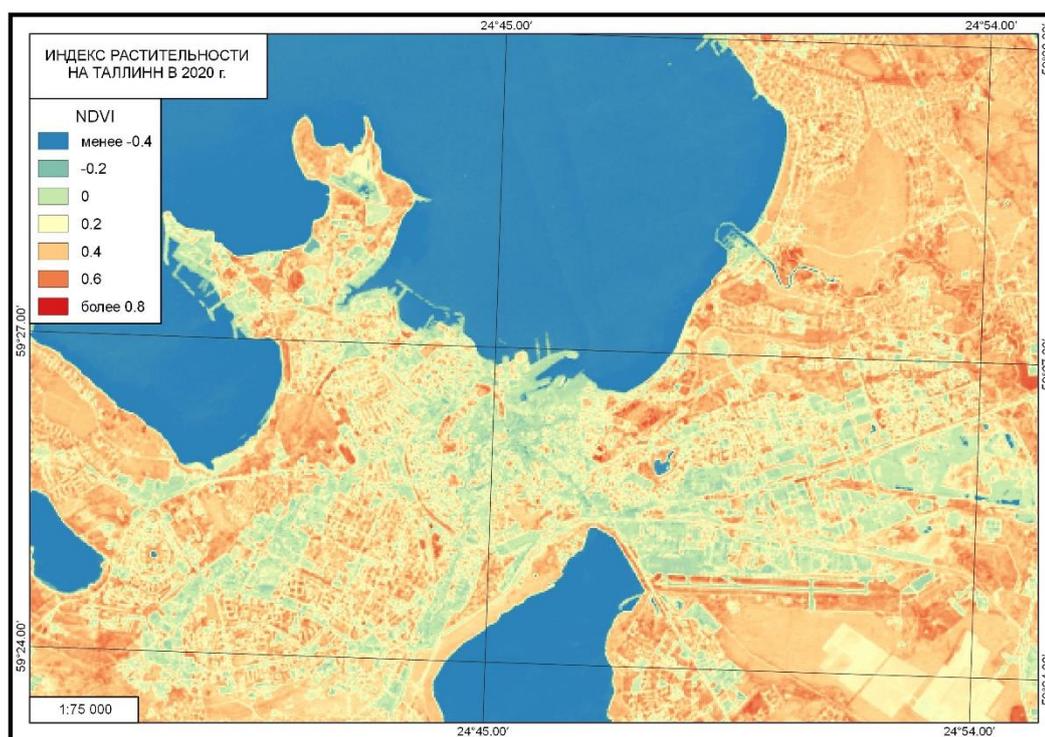


Рисунок 41. NDVI на Таллинн в 2020 г.

По NDBI в Таллине за 5 лет было выявлено небольшое увеличение площади застройки новых территорий (рис.43, рис.44). Рассматривая график (рис.42), можно говорить о том, что в центре в основном это смена функциональных зон в Kesklinn рядом с портом вместо промышленной под жилую и деловую. За счет этого есть повышение

численности населения в районе, также увеличение этажности домов. В районе проводится редевелопмент территории близкой к историческому центру. Небольшие изменения есть в Pirita, но они не значительны, возможно район начинает окончательно формироваться. Также увеличилась немного численность в районе Haabersti, что позволяет говорить о застройке на данной территории. В Lasnamae крупнейший район в Эстонии по населению, если учесть, что 443 тыс.чел, то в данном месте проживают около 120 тыс.чел., более 25% от общей численности Таллина. Возможно он продолжит расширяться, но за счет того, что район спроектирован в советское время и ближайшем будущем начнется реновация домов. Районы Kriistine, Mustamae, Nõmme в численности населения практически не изменились.

Проблемы могут заключаться в том, что город не вышел на 90-е годы, когда произошел резкий спад населения из-за открытых границ, кризисов, распада Советского союза и др. Спрос на жилье вызывается спросом населения, но если его нет, то и нет смысла увеличивать количество домов, кроме промышленных или объектов инфраструктуры. Первые как раз создают новые рабочие, принося налоги городу и многое другое. Но на данный момент убыль населения прошло стагнацию и идет постепенный рост на 90-е годы прошлого века.

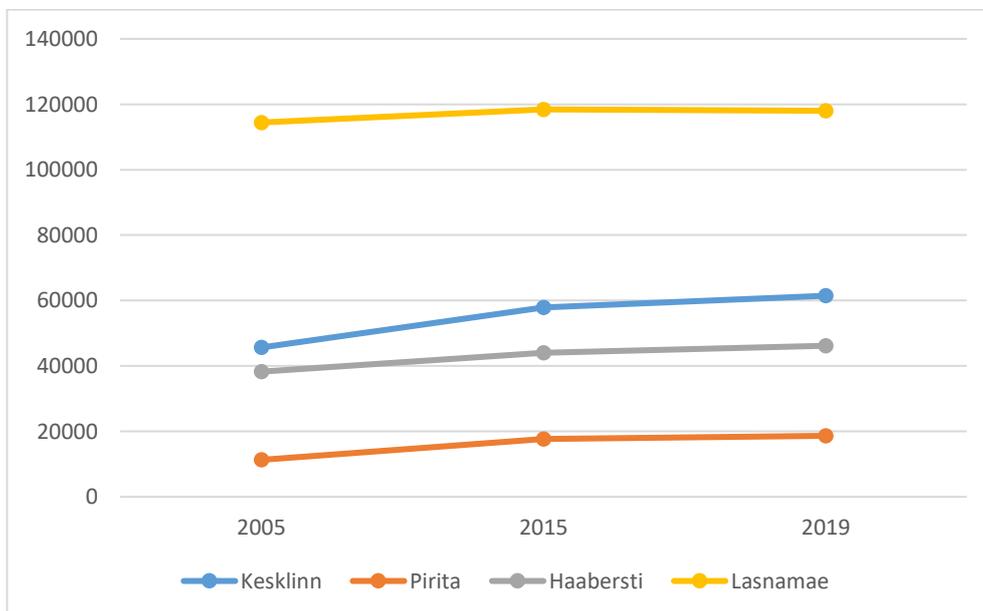


Рисунок 42. Изменение численности населения в районах, где проводилась застройка
(TALLINN ARVUDES..., 2019)

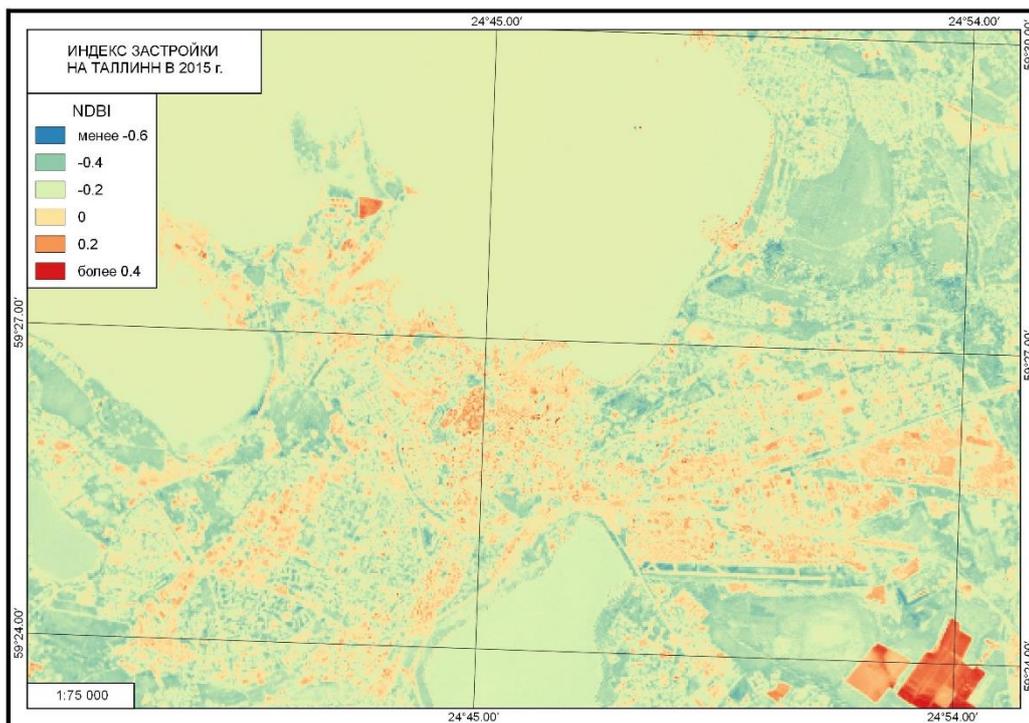


Рис.43 NDBI на Таллинн в 2015 г.

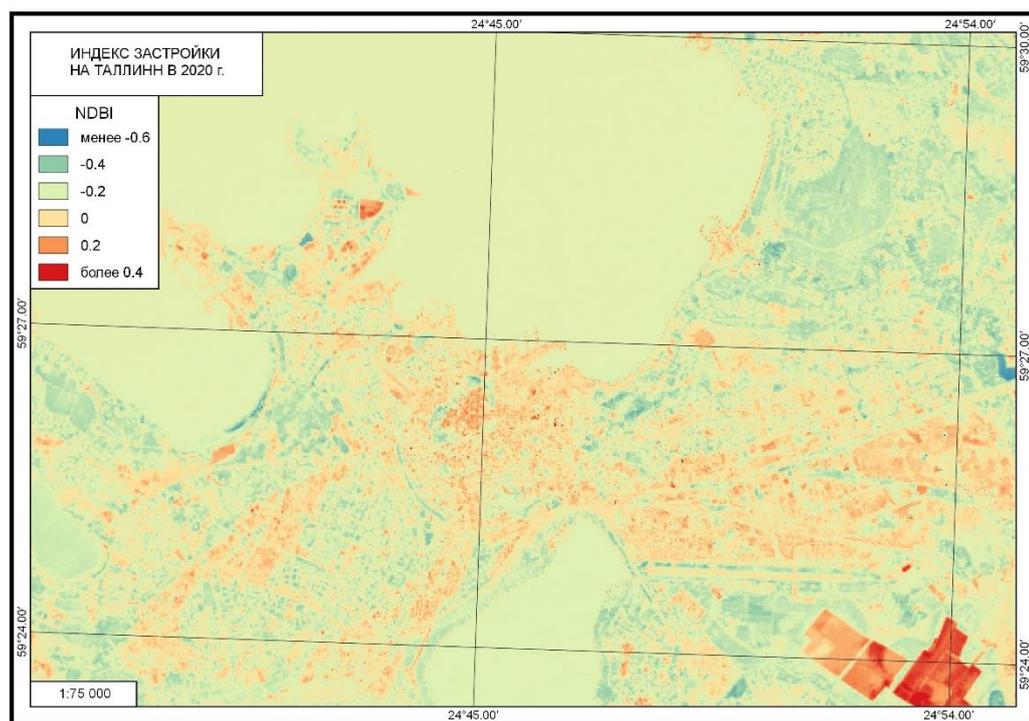


Рис.44 NDBI на Таллинн в 2020 г.

По тепловым снимкам несложно заметить, что некоторые части города нагреваются сильнее по сравнению с окружающими территориями (рис.45, 46). Как и в Хельсинки, и в Санкт-Петербурге, основными источниками островов тепла выступают промышленные территории, асфальтовые поля, склады/магазины, крыши домов. В

случае с Таллинном повышение температуры наблюдаются в промышленных зонах города в районе Lasnamae и Mustamae и разница в пределах 5-10 °С. Например, в районе Nottme температура ближе к озеленённым территориям, за счет малоэтажной застройки, когда кроны деревьев не дают прогревать поверхность. На снимках (рис.45, рис.46) выделяются парки, лесопарки, которые не создают островов тепла, а наоборот охлаждают город.

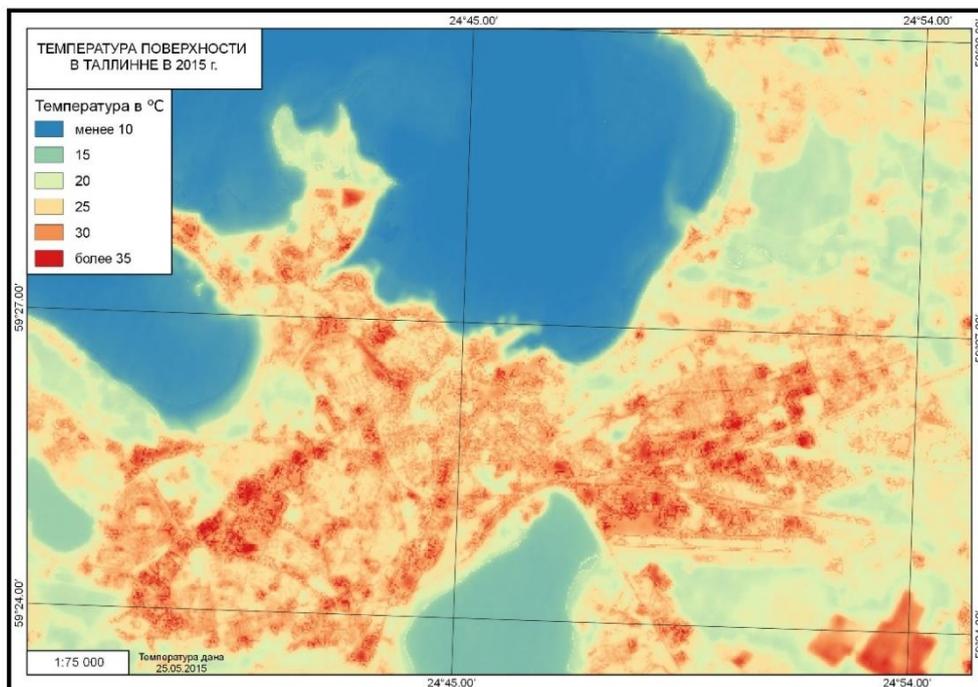


Рис.45 Тепловая карта на территорию Таллинна в 2015 г.

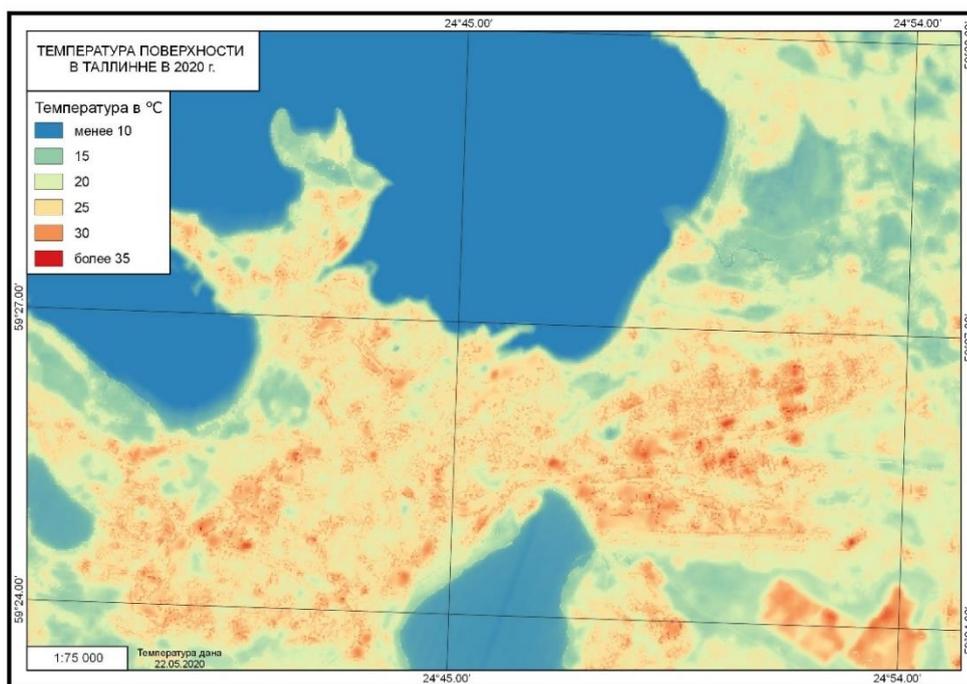


Рис.46 Тепловая карта на территорию Таллинна в 2020 г.

4.5. Rīga

В ходе расчета индекса NDVI в Риге за 5 лет было особо не выявлено уменьшение зеленых насаждений (рис.47, рис.48). Есть небольшие изменения в разных частях города. Наблюдается увеличение застройки на севере и западе города в основном под промышленные объекты из – за близости порта.

Рига является самой зеленой столицей Европы, 30 % - зеленые зоны. В городе 10 больших лесных массивов, 29 парков, 66 скверов и другое (<https://www.riga.lv/sites/riga/files/content/PILSĒTA/Par%20Rīgu/Rīga%20skaitlos/RU/riga-skaitlos2018rusweb-3.pdf>). Связано наверно это с падением численности населения после 90-х годов на треть. Не требуется застраивать новые земли, изменять назначение функциональных зон для застройки, следовательно, нет необходимости в строительстве на зеленых территориях.

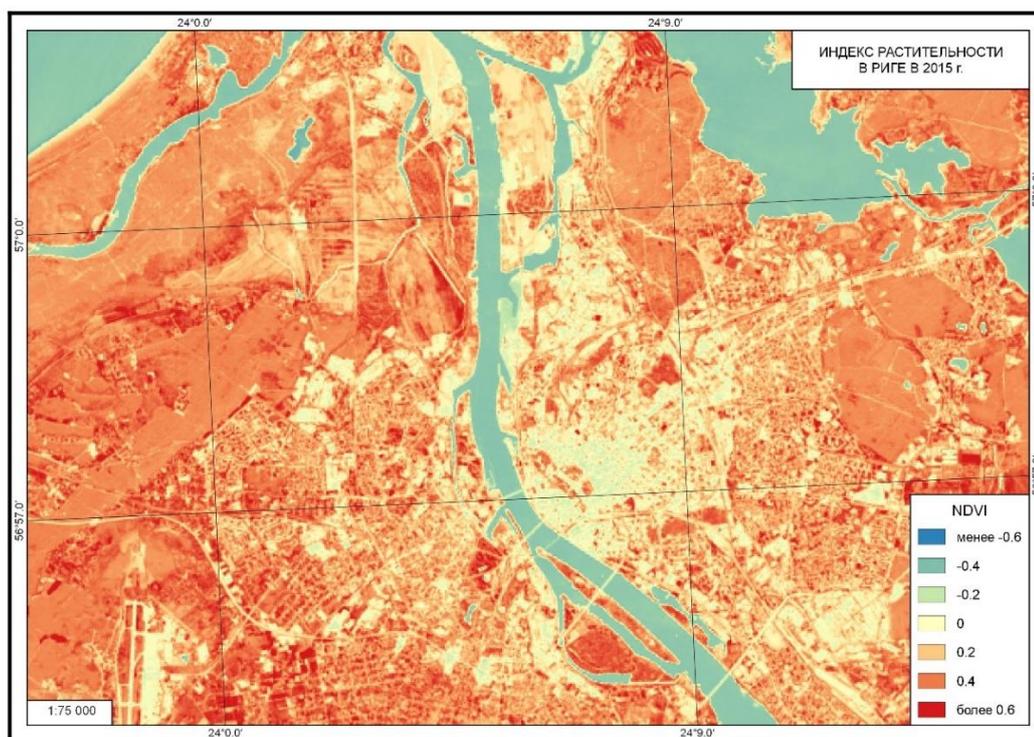


Рисунок 47. NDVI на Ригу в 2015 г.

В 2018 году Рига заняла десятое место в рейтинге зеленых городов мира со 113 м² растительности на одного человека (<https://www.grani.lv/latvia/101959-riga-otkryla-desyatku-samyh-zelenyh-gorodov-mira.html>). По мнению Армандса Крузе, руководитель стратегического управления Департамента городского развития Рижской думы, городу надо развиваться не за счет зеленых территорий. Рига предлагает девелоперам условия: город подготавливает коммуникации и инфраструктуру для строительства, но они

взамен озеленяют территорию. Также по мнению руководителя надо развивать и водные объекты в городе и создавать зеленые коридоры (<https://greenbelarus.info/articles/23-06-2017/za-zelyonye-zony-dolzhny-otvechat-gorozhane-chinovnik-iz-rigi-i-urbanist-iz>).

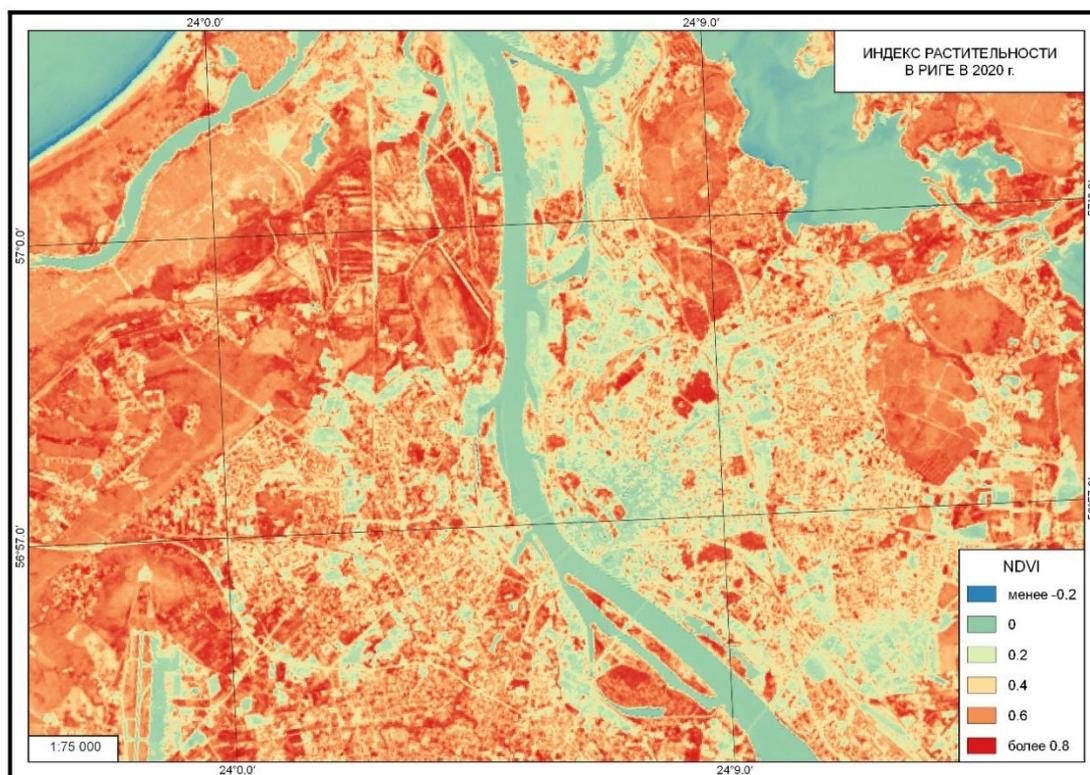


Рисунок 48. NDVI на Ригу в 2020 г.

По NDBI в Риге за 5 лет было выявлено небольшое увеличение площади застройки новых территорий (рис.49, рис.50) на западе и юге города промышленными объектами, складами. На востоке немного увеличилось жилыми кварталами. Современная застройка представлена частным, малоэтажным и немного среднеэтажным строительством.

Спрос небольшой на недвижимость из-за постоянной убыли населения, которая будет только продолжаться в будущем. Увеличение промышленных объектов будет давать городу новые рабочие места, что может поспособствовать миграции населения, чтобы замедлить еще темпы убыли и возможного перехода в рост. Новые компании приносят доходы в бюджет, который необходим для дальнейшего развития территорий.

По снимкам (рис.49, рис.50) наблюдается высокая плотность застройки в центре, восточнее и севернее. Севернее располагается порт с необходимой инфраструктурой, восточнее спальные районы города. Южнее и западнее располагается частная и малоэтажная застройка с элементами деловой и промышленной (склады). Как уже

говорилось индекс не отделяет городскую застройку от песчаных, открытых территорий, которые есть рядом с портом и на побережье залива.

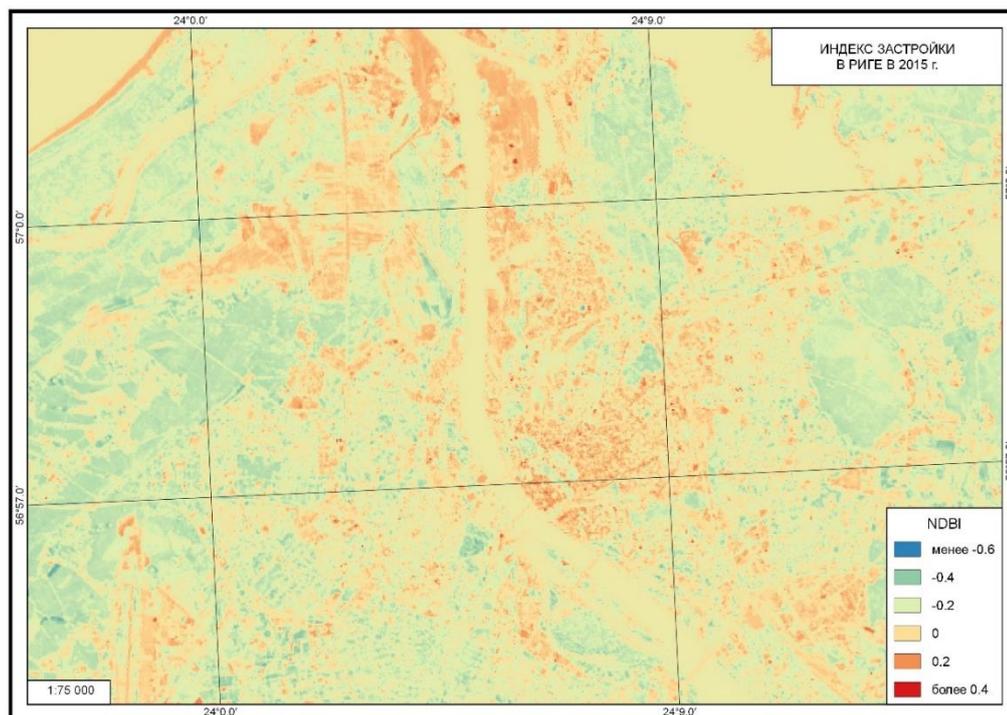


Рисунок 49. NDBI на Ригу в 2015 г.

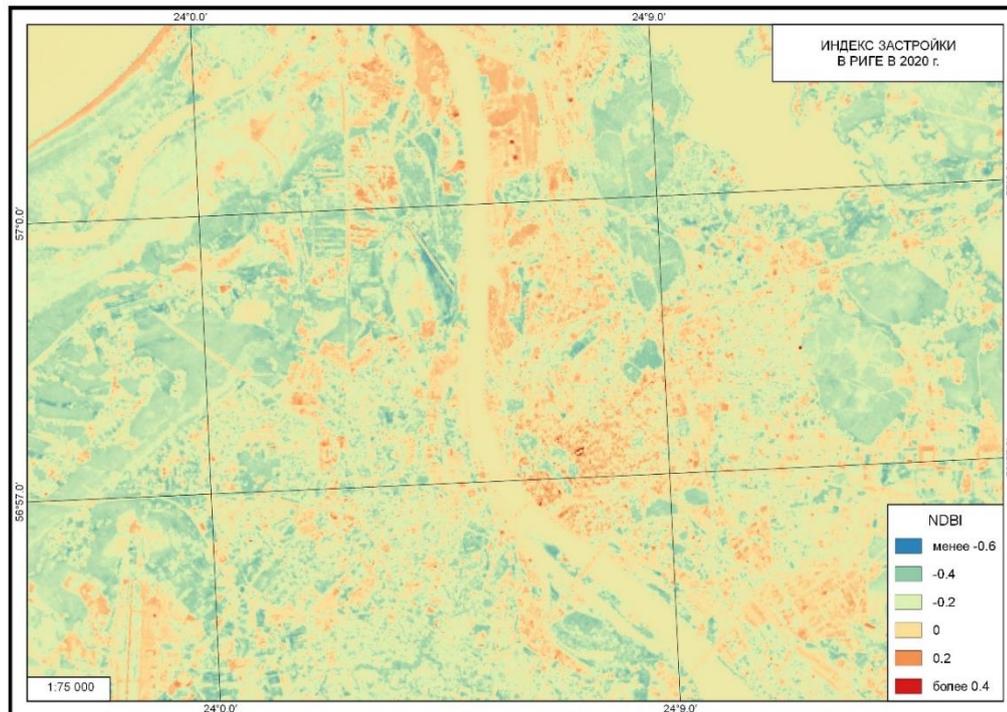


Рисунок 50. NDBI на Ригу в 2020 г.

По тепловым снимкам (рис.51, 52) видны различия по температуре поверхности из-за того, что в 2020 г. температура воздуха была выше на 6-7 °С, чем в 2015 г. Можно

заметить, что высокие температуры наблюдаются в точечных местах. Этим местам характерны склады/магазины, которые не имеют озеленения вокруг. В более жаркий день хорошо выделяются парковые и лесные зоны, в которых градус значительно ниже, чем на прилегающей застроенной территории. Также сильно нагрелись поверхности в районе порта на севере, так как они не озеленены, присутствие открытой почвы и промышленных объектов.

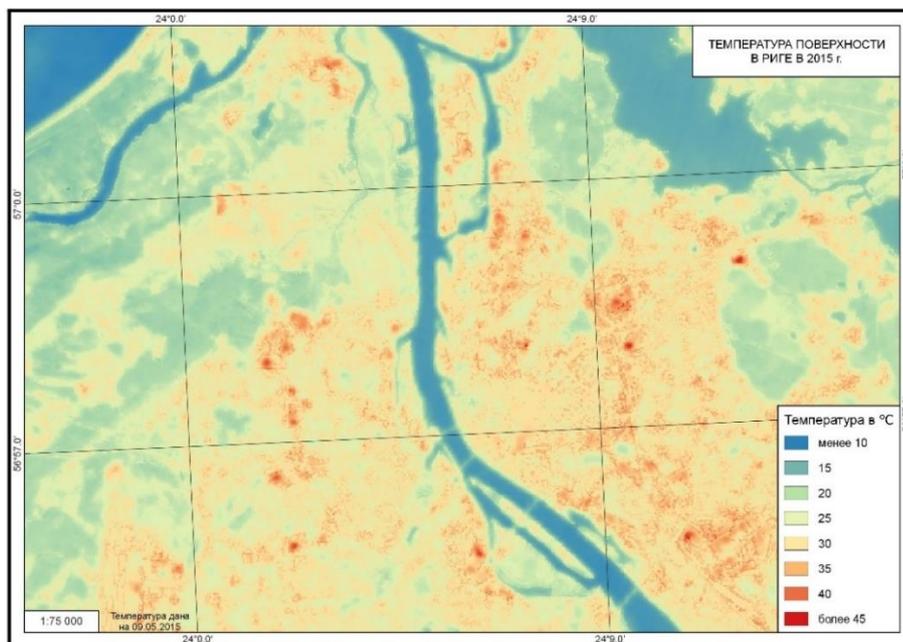


Рисунок 51 Тепловая карта на территорию Риги в 2015 г.

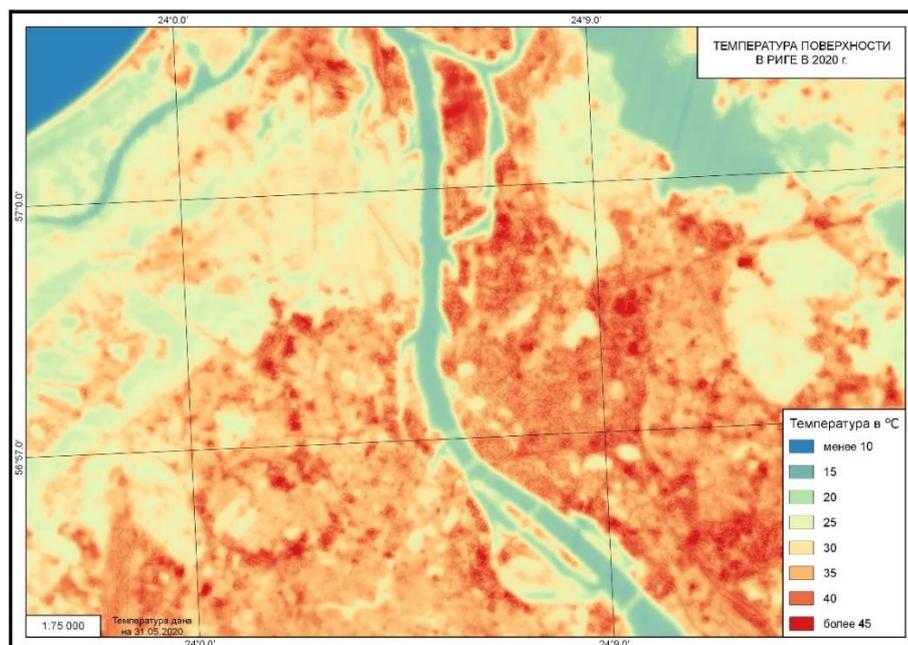


Рисунок 52 Тепловая карта на территорию Риги в 2020 г.

4.6. Анализ результатов

Рост городов преимущественно там, где увеличивается численность населения – Хельсинки, Санкт-Петербург. Оба города развиваются и застраивают как новые земли, так и производят редевелопмент «серых поясов». Таллинн прошел стагнацию и начинает возвращаться на уровень 1990-х годов по численности населения, но это не в ближайшее время произойдет. Есть небольшое увеличение застройки, но не на новых территориях, а вместо промышленной застройки рядом с центром города. В Риге продолжается убыль и старение населения, но на данный момент процесс замедлился, но перспектив на рост нет, только продолжающееся падение. Увеличение застройки связано преимущественно с промышленностью, за счет которой город дает новые рабочие места для увеличения местных жителей.

Индекс NDBI не подойдет для территорий пустынных и полупустынных. Проблема заключается в отражении песчаной и городской территории из-за одинаковых спектральных значений, что затрудняет проведение анализа.

К возникновению островов тепла приводят зоны, которые недостаточно озеленены. Растительность и вода помогают с охлаждением территорий. Повышение температуры вызывают промышленные объекты, склады/магазины, поля асфальта, высотная застройка, отсутствие зеленых крыш. Во всех четырех городах преимущественно из-за данных объектов наблюдаются острова тепла.

По исследованию наибольшие изменения были на территории Санкт-Петербурга, поэтому расчёт и анализ разностного изображения с помощью индекса NDVI, сформированного из двух разновременных снимков, приведён на рисунке 24. Данный метод хорошо применим на большие города.

По результатам фондовых материалов построен график изменения ввода жилья (рис.53), на котором видно, что в 2020 г. произошло увеличение по сравнению с 2015 г., при этом 2020 г. был изоляционным в весенние месяцы, что хорошо видно на графике (рис.53). Следовательно, можно говорить, что в 2020 г. с коронавирусными ограничениями ввели гораздо больше жилья по сравнению с 2015 г. Данный график отображает всю жилую застройку – это может быть частная и многоэтажная, строительство на новых территориях или редевелопмент промышленных объектов, но дает понимания того, что продолжается увеличения и наблюдается рост города.

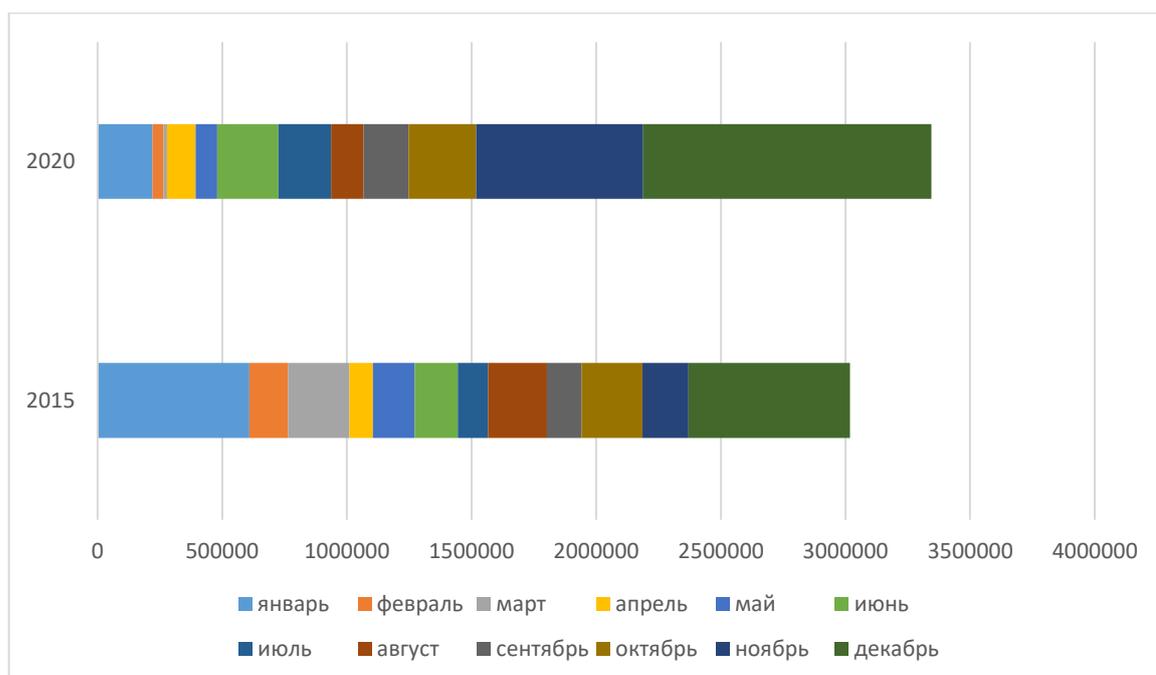


Рисунок 53. Количество введенного жилья в м²
 (<https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/komstroy/statistic/development/>)

Новые территории в основе это зеленые массивы: леса, сельскохозяйственные угодья, небольшие скверы во дворах и многое другое. Проведя анализ уменьшения зеленых зон, связанный с застройкой, получили данные, что за прошедшие 5 лет произошло снижение на 12 км² (рис.54). В масштабах города цифра небольшая, меньше 1 % и составляет 0.9 %. Но если так каждые 5 лет уменьшать территории, то может возникнуть дефицит зеленых зон для отдыха, прогулок, проблемы с очищением городского воздуха и т.д.

Данный алгоритм можно использовать для проведения мониторинга окружающей среды и выявления сокращений в различных частях города. Данные Landsat 8 пригодны для исследования в больших агломерациях, где происходят изменения. При наличии снимков высокого разрешения данный алгоритм можно применять для небольших урбанизированных территорий.

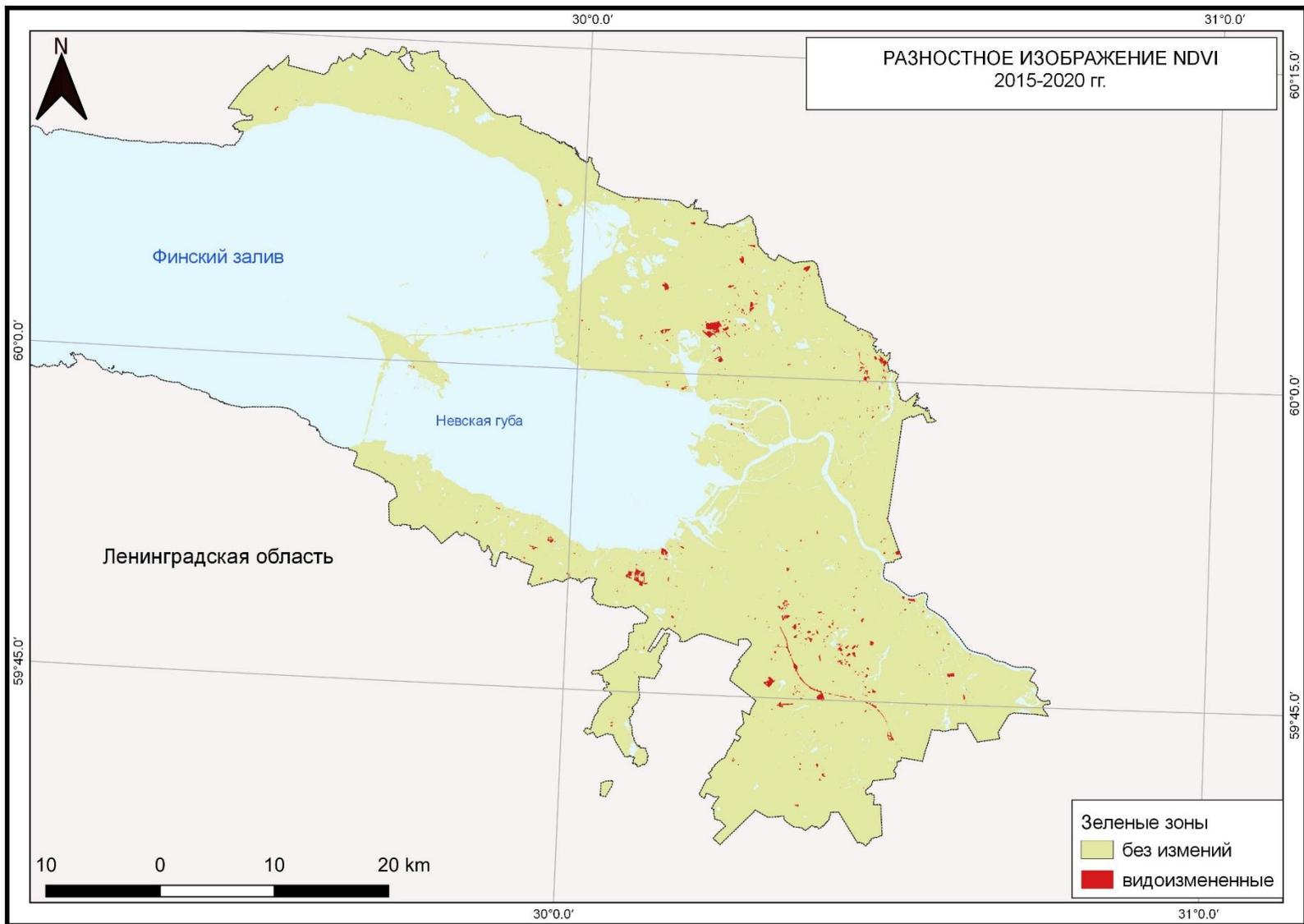


Рисунок 54. Разностное изображение NDVI

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение роста городов в последнее время становится все более актуально, в связи с расширением территорий. Поиск новых методов анализа городов с помощью ДЗЗ и ГИС- технологий становятся приоритетными. Интеграция различных источников данных, их совместная обработка повышает качество и информативность результатов, полученных с использованием этих данных. С их помощью возможно обеспечить поддержку планирования и принятия решений по управлению территорией города органами местного самоуправления и предоставляющих пространственные данные о территории заинтересованным лицам, в том числе градостроителям, архитекторам, проектировщикам, инвесторам, девелоперам, кадастровым инженерам и пр.

По полученным данным можно говорить о росте городов за пятилетний период с 2015 – 2020 г:

- по тепловым снимкам определяем функциональные особенности городов, связанные с производственной, транспортной и инженерной инфраструктурой, общественно-деловой зоной и застройкой многоэтажными домами;
- из индексных изображений становится понятно, либо увеличиваем зеленые зоны, либо жилую и промышленную застройку;
- увеличение городов в основном там, где возрастает численность населения;
- сокращение зеленых зон на примере Санкт-Петербурга.

Результаты работ могут быть применимы для администраций городов, муниципальных образований для рационального использования земель с целью комфортного проживания горожан.

В результате выполнения исследования была достигнута цель и проанализирован рост городов Балтийского региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Монографии:

1. Методика мониторинга первичных экосистем Севера на основе данных дистанционного зондирования Земли. Исполнитель Серов А.В. Сыктывкар, 2010.
2. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М.: Изд-во Техносфера, 2008, 312 с.
3. Шиманюк А.П. Дендрология. М.: Лесная промышленность, 1967, 334.
4. Helsingin tilastollinen vuosikirja 2020. 2020 : Helsingin kaupunki, kaupunginkanslia, kaupunkitutkimus ja –tilastot. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy, 314 p.
5. Hoeven F. D., Wandl A. Hotterdam: How space is making Rotterdam warmer, how this affects the health of its inhabitants, and what can be done about it. Delft, 2015, 92 p.
6. Howard L. The climate of London, deduced from Meteorological observations, made at different places in the neighborhood of the metropolis. London, 1818, 2 vol.
7. Landsat 8 Data Users Handbook. Sioux Falls: EROS, 2019, 106 p.
8. TALLINN ARVUDES 2019. 2019 : Statistika aastaraamat Tallinn arvudes 2019. Tallinn: Ellington Printing OÜ, 201 p.

Статьи в сборниках:

1. Dadras M., Helmi Shafri Z.M., Ahmad N., Pradhan B., Safarpour S. Six decades of urban growth using remote sensing and GIS in the city of Bandar Abbas, Iran // 7th IGRSM International Remote Sensing & GIS Conference and Exhibition, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 20 (2014) 012007.

Статьи в журналах:

1. Кресникова Н.И., Васильевых Н.А. Применение данных дистанционного зондирования и геоинформационных технологий для обеспечения территориального планирования // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка», 2018. Т. 62. № 2. С. 212–217.
2. Статакис Д., Перакис К., Савин И.Ю. Дешифрирование урбанизированных территорий по спутниковым данным Landsat// Исследование Земли из космоса, 2012, №5, с. 22-28.
3. Beyhan B., Taubenböck H., Suffa S., Ullmann T., Rauh J., Dech S. Urban Growth and Sprawl of Mersin City, Turkey: Change Analysis Based on Earth Observation and Socio-Economic Data // MEGARONJOURNAL, 2012, vol.7 no.1

4. Karanam H.K. Study of normalized difference built-up (NDBI) index in automatically mapping urban areas from Landsat TM imagery // International Journal of Scientific Research and Review, 2018, vol.7, issue 1.
5. Malik M.S., Shukla J.P, Mishra S. Relationship of LST, NDBI and NDVI using Landsat-8 data in Kandaihimmat Watershed, Hoshangabad, India // Indian Journal of Geo Marine Sciences, 2019, vol. 48(01), pp. 25-31.
6. Schweitzer F. A growing urban problem // Nature, June 2006.

Ресурсы сети Интернет:

1. <https://www.who.int/bulletin/volumes/88/4/10-010410/ru/> - урбанизация и здоровье по данным всемирной организации здравоохранения, дата обращения 3 марта 2021.
2. <https://www.who.int/world-health-day/2010/about/ru/> - почему выбрана тема «Урбанизация и здоровье» во всемирный день здоровья в 2010 г., дата обращения 3 марта 2021.
3. <https://news.un.org/ru/story/2020/02/1372221> - форум в Абу-Даби, посвященный вопросам урбанизации, дата обращения 4 марта 2021.
4. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS> - международный банк реконструкции и развития с данными об урбанизации по различным странам, дата обращения 8 марта 2021.
5. <https://www.worldometers.info/population/largest-cities-in-the-world/> - данные о крупных городах мира на 2015 г., дата обращения 1 марта 2021.
6. <https://www.metlink.org/fieldwork-resource/urban-heat-island-introduction> - информация о островах тепла, дата обращения 20 марта 2021.
7. <https://www.epa.gov/heatislands/learn-about-heat-islands> - что такое острова тепла, дата обращения 22 марта 2021.
8. <https://www.who.int/globalchange/publications/heat-and-health/ru/> - воздействие жары на здоровье горожан, дата обращения 20 марта 2021.
9. <https://www.sion.ch/acclimatisation> - борьба с повышением климата на примере города Сьона, дата обращения 25 марта 2021.
10. <https://kgainfo.spb.ru/zakon/generalplan/> - генеральный план Санкт-Петербурга, дата обращения 20 мая 2021.
11. https://rodovid.me/green_city/kak-sokratit-effekt-gorodskogo-teplovogo-ostrova.html - картинка островов тепла над городской и сельской местностью, дата обращения 23 марта 2021.

12. <https://www.mos.ru/mka/function/dlia-spetsialistov/terminy-i-opredeleniia/> - понятие функциональных зон, дата обращения 18 мая 2021.
13. <http://www.visit-petersburg.ru/ru/> - информация о Санкт-Петербурге, дата обращения 20 февраля 2021.
14. <https://www.hel.fi/helsinki/fi> - информация о Хельсинки, дата обращения 21 февраля 2021.
15. <https://www.liveriga.com/ru/> - информация о Риге, дата обращения 23 февраля 2021.
16. <https://www.riga.lv/ru> - информация о Риге, дата обращения 23 февраля 2021.
17. <https://www.tallinn.ee/est/> - информация о Таллине, дата обращения 22 февраля 2021.
18. https://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/news/EGCA_2022_EGLA_2021_finalists_announced.html - зеленая столица Европы, дата обращения 1 апреля 2021.
19. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-overview> – каналы в Landsat 8, дата обращения 1 февраля 2021.
20. <https://gp5.ru/> - архив погоды на города, дата обращения 26 февраля 2021.
21. <https://gis-lab.info/qa/grass7-landsat8-processing.html> - радиометрическая коррекция, дата обращения 10 апреля 2021.
22. <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov> - калькулятор атмосферных параметров, дата обращения 28 марта 2021.
23. <https://realty.rbc.ru/news/5f5b2e869a7947e378bc8efb> - увеличение намыва на Васильевском острове, дата обращения 1 мая 2021.
24. <https://living.ru/spb/expert/research/lakomyj-kusocek-perspektivy-razvitiya-territorij-kamenki/> - застройка Каменки, дата обращения 1 мая 2021.
25. <https://yle.fi/uutiset/3-11937531> - построение моста из района Laajasalo в центр, дата обращения 25 мая 2021.
26. https://www.riga.lv/sites/riga/files/content/PILSĒTA/Par%20Rīgu/Rīga%20skaitlos/RU/ri_gaskaitlos2018rusweb-3.pdf – статистика по Риге на 2018 г., дата обращения 15 марта 2021.
27. <https://www.grani.lv/latvia/101959-riga-otkryla-desyatku-samyh-zelenyh-gorodov-mira.html> - зеленые города в мире, дата обращения 15 апреля 2021.
28. <https://greenbelarus.info/articles/23-06-2017/za-zelyonye-zony-dolzhy-otvechat-gorozhane-chinovnik-iz-rigi-i-urbanist-iz> - озеленение в Риге, дата обращения 18 апреля 2021.
29. <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/komstroy/statistic/development/> - статистика ввода жилья в Санкт-Петербурге, дата обращения 20 мая 2021.