

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Комплексное исследование зеленой инфраструктуры города (на примере Екатеринбурга)

УДК: 712.4, 911.375.5

DOI: 10.47055/19904126_2023_4(84)_18

Гущин Александр Николаевич

кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры градостроительства и ландшафтной архитектуры,
Уральский государственный архитектурно-художественный университет имени Н.С. Алфёрова,
Россия, Екатеринбург, e-mail: alexanderNG@yandex.ru

Дивакова Марина Николаевна

кандидат архитектуры,
доцент кафедры градостроительства и ландшафтной архитектуры,
Уральский государственный архитектурно-художественный университет имени Н.С. Алфёрова,
Россия, Екатеринбург, e-mail: fpk-d@yandex.ru

Мусаев Тимур Исамутдинович

ведущий архитектор.
Единый институт пространственного планирования РФ
ORCID 0000-0002-3022-510X
Россия, Москва, e-mail: 0the.architect0@gmail.com

Аннотация

В статье раскрывается содержание понятия «зеленая инфраструктура» и причины, по которым данное понятие стало употребляться вместо термина система озеленения. Особое внимание уделяется структурным свойствам зеленой инфраструктуры, в частности основному элементу, обеспечивающему ее устойчивость, – зеленому каркасу.

В качестве примера проанализировано состояние каркаса зеленой инфраструктуры г. Екатеринбурга. Выявлены и описаны проблемы зеленого каркаса с точки зрения его структурных свойств. Выявлены и проанализированы долгосрочные риски, возникающие вследствие несоответствия структурных свойств каркаса зеленой инфраструктуры потребностям городского развития.

Новизна исследования заключается в том, что для исследования состояния зеленой инфраструктуры и ее зеленого каркаса используются не только традиционные методы: картографические, графоаналитические, фотофиксация, но и данные дистанционного зондирования.

Данные дистанционного зондирования представляют собой мультиспектральные космические снимки, на основе которых рассчитываются различные индексы – комбинации изображений в различных каналах. В статье показано, как можно применять и использовать различные индексы для анализа зеленой инфраструктуры. Сделан вывод, что в ряде случаев именно использование данных дистанционного зондирования позволяет получить уникальные сведения о состоянии зеленой инфраструктуры и причинах происходящих в ней долговременных изменений.

Все выявленные закономерности применяются для оценки проектных решений, заложенных в генеральном плане города для прогноза рисков и создания рекомендаций, способствующих устойчивому развитию зеленой инфраструктуры.

Ключевые слова:

водно-болотные угодья, дистанционное зондирование, индекс качества городской среды, индекс вегетации (NDVI), стандартизованный индекс различий увлажненности (NDMI), индекс SWIR

A comprehensive study of the city's green infrastructure. The case of Yekaterinburg

УДК: 712.4, 911.375.5

DOI: 10.47055/19904126_2023_4(84)_18

Gushchin Alexander N.

PhD. (Physics and Mathematics), Associate Professor,
Planning and Landscape Architecture,
Ural State University of Architecture and Art,
Russia, Yekaterinburg, e-mail: alexanderNG@yandex.ru

Divakova Marina N.

PhD. (Architecture), Associate Professor,
Planning and Landscape Architecture,
Ural State University of Architecture and Art,
Russia, Yekaterinburg, e-mail: fpk-d@yandex.ru

Musaev Timur I.

Lead Architect.
Unified Institute of Spatial Planning of the Russian Federation.
ORCID 0000-0002-3022-510X
Russia, Moscow, e-mail: 0the.architect0@gmail.com

Abstract

The subject of the study is green city infrastructure. The content of the concept 'green infrastructure' is expounded, and the reasons why the term 'green infrastructure' is now mostly used. Special attention is paid to the structural properties of the green infrastructure, in particular to the main element that ensures its sustainability - the green framework.

As a case in point, we considered the condition of the green infrastructure framework in the city of Ekaterinburg. Issues around the green infrastructure framework were identified and described regarding its structural properties. Long-term risks arising from the mismatch between the structural properties of the green infrastructure framework and the needs of city development are assessed.

The novelty of the study lies in the fact that we used not only the traditional methods such as mapping, graphical analytic technique, and photo surveying, but also new modern approaches such as geo-referenced data, multispectral space images from which different indices are calculated, in particular combinations of images in different channels. The article shows how different indices can be applied and used to analyze green infrastructure. It is concluded that in a number of cases it is the use of geo-referenced data that allows obtaining unique information about the condition of the green infrastructure and the causes of long-term changes occurring in it. All the identified regularities are used to evaluate the design decisions laid down in the general plan of the city to forecast risks and create recommendations that contribute to the sustainable development of green infrastructure.

Keywords:

wetlands, geo-referenced data, urban environment quality index, vegetation quality index (NDVI), standardized difference moisture index (NDMI), SWIR index

Введение

Екатеринбург является растущим городом и входит в категорию сверхкрупных городов. Согласно прогнозам, его население в 2025 г. составит 1,6 млн. чел. [1]. Территория города богата природными ресурсами: имеет развитую гидрографическую сеть, включающую 11 рек и уникальный экологический ресурс: торфяники и водно-болотные угодья. В то же время качество зеленой системы озеленения, измеряемое как количество баллов блока «Озелененные пространства» индекса качества городской среды, за последние десятилетия сильно понизилось и в настоящее время стало одним из самых низких для городов-миллионников [2]. В этих условиях актуальная задача – комплексное исследование зеленой инфраструктуры с последующими рекомендациями по стратегии ее развития.

Понятийный аппарат исследования*Зеленая инфраструктура*

Понятие «зеленая инфраструктура» введено в 1999 г. Фондом охраны природы и Министерством сельского хозяйства США, которые сформировали рабочую группу «Green Infrastructure Work Group». Характерные черты зеленой инфраструктуры: связность различных типов пространств (ландшафтов) от диких до окультуренных. Зеленая инфраструктура также предполагает свободное передвижение различных видов живых организмов, обитающих в данной местности [3, с. 6]. В отечественной школе градостроительного

проектирования традиционно используется термин «зеленые насаждения», под которыми в ГОСТ 28329-89 подразумевается «совокупность древесной, кустарниковой и травянистой растительности на определенной территории». Отличие в терминах заключается в том, понятие зеленой инфраструктуры предполагает не просто растительность, но и формы организации и функциональные требования к растительности (способствует здоровью и качеству жизни). Как следствие, состояние зеленой инфраструктуры служит интегральным показателем, оценивающим качество городской среды как в целом, так и отдельных ее компонентов: экологических, социальных, инвестиционных. «При покомпонентных оценках пристальное внимание обращается на состояние растительности как интегральный показатель состояния естественной экосистемы в целом» [4, с. 24].

Каркас зеленой инфраструктуры

В пространственном и структурном отношении устойчивость зеленой инфраструктуры в целом создает ее каркас. Понятие каркаса (природного каркаса) появилось в работах В.В. Владимирова, который утверждал, что «город как система не имеет достаточных возможностей для саморегуляции, а потому должен рассматриваться в единстве с достаточно обширным регионом» [4, с. 5]. «Основные элементы природного каркаса определяются действующим законодательством в сфере градостроительства, в сферах охраны окружающей среды (ООС), земельного, лесного, водного законодательства, нормативах об ООПТ и т.д., при этом они обеспечены соответствующими природоохранными документами, в которых рассмотрены вопросы охраны природных парков и заказников, защитных лесных и заповедных участков, связанных с охраной природных ресурсов (земельных, водных, почвенных, биологических)» [4].

Типология зеленых каркасов, предложенная в работе В.М. Пивкина и Л.Н. Чиняевой [5] представлена на рис. 1. На взгляд авторов, подобные классификации являются достаточно условными. Фактически природный каркас не является стабильной и постоянной системой ядер или связей. Он изменчив как и сама природа. Ценность существующих природоохранных ограничений сводится к тому, чтобы одним «пятном» ограничить доступ к прямому воздействию на нее человека. Сама же охраняемая природа в понимании законодательства ограничивается непосредственно выявленной сравнительно стабильной зоной. Каждая из таких зон напрямую связана со всей окружающей средой и так или иначе включается в биологические процессы этой среды. При этом относительная устойчивость ядер каркаса обеспечивается исключительно в рамках тех сравнительно незаметных процессов, которые удалось зафиксировать за последние десятилетия изучения экологии сред, откуда следует, что реальная функция законодательных ограничений связана не столько собственно с защитой, но

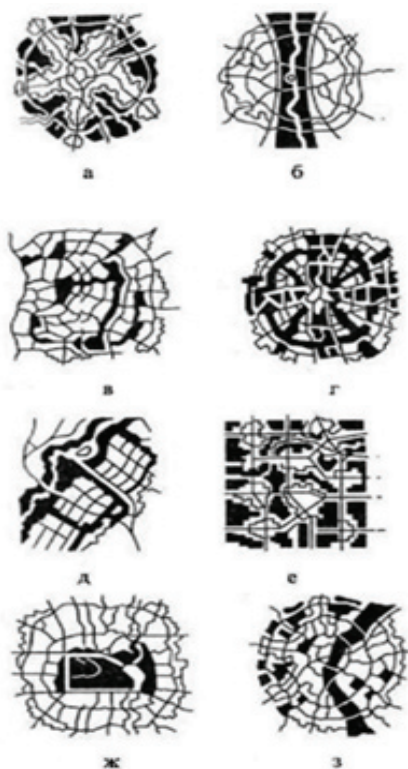


Рис. 1. Типология зеленых каркасов

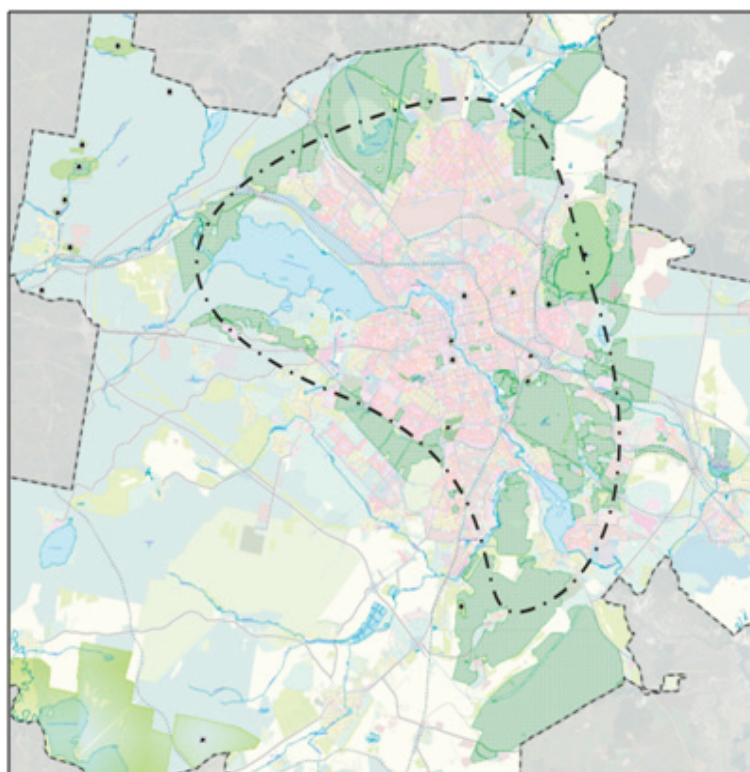


Рис. 2. Схема каркаса зеленой инфраструктуры [1]

и с тонкой интеграцией озелененных систем в зону воздействия человека и с консервацией любых процессов, связанных с ними. Необходимо, чтобы до сих пор не изученная система ландшафтных процессов с большей вероятностью сохранила свои параметры до тех пор, пока не будет найдено оптимальное решение проблемы их интенсивной деградации с приходом человека. Важное свойство каркаса, названное в работе Т.И.Мусаева непрерывностью [6], – полимасштабность зеленого каркаса [7]. Ранее авторы называли это свойство фрактальностью [8]. В математике фракталом называется объект (множество), обладающее свойством самоподобия: объект, в точности или приближенно совпадающий с частью себя самого. Подобно этому и каркас, который на определенном масштабе представляется как совокупность ядер и связей; при уменьшении масштаба каждое ядро также может состоять из своего каркаса и своей ткани.

Все исследователи согласны с тем, что важную роль в формировании каркаса играет ландшафт и речная сеть, например, «природный каркас (ПК) – система открытых озелененных пространств и природных комплексов, которая формируется на базе гидрографической сети с учетом геоморфологии и особенностей рельефа во взаимосвязи с природным окружением» [4]. В определении зеленой инфраструктуры прямо говорится, про естественную систему поддержания жизни, связанную с сетью водных путей, заболоченных мест, лесистых пространств. Традиционно зеленая инфраструктура в Екатеринбурге могла бы строиться на основе водно-зеленого диаметра города. Водно-зеленый каркас во многих случаях является ключевым элементом экологической политики города [9, 10]. Важны и административные аспекты, так как Екатеринбург вошел в международный проект [11, 12]. Фактическое состояние водно-зеленого диаметра будет показано ниже.

Суммируя сказанное, можем заключить, что условиями устойчивого развития зеленой инфраструктуры является» 1) каркас, базирующийся на составляющих ландшафт природных комплексах: гидрографической сети, заболоченных территориях, геоморфологическом строении поверхности, 2) правовые режимы охраны территории. Каких-либо формализованных критериев для определения типа каркаса в настоящее время не имеется. И это представляет одну из проблем научных исследований. Применение методов дистанционного зондирования, о которых будет сказано ниже, само по себе позволит иначе рассматривать комплекс мер, необходимых для стабилизации экологической структуры города и всего муниципального образования.

Ретроспекция

Этапы формирования зеленой инфраструктуры можно проследить по этапам формирования системы зеленых насаждений Свердловска–Екатеринбурга. Т.Б. Сродных выделяет пять этапов становления системы озеленения [13]. Нас будет интересовать следующие периоды:

- 1920–1960 гг. Время системного озеленения, когда складывалась социалистическая система озеленения города в рамках планового ведения городского зеленого строительства.
- 1960–2000 гг. Названный автором периодом экстенсивного озеленения, когда происходит «расширение функций лесных массивов».
- 2000–2009 гг.
- Современный период.

В четвертом периоде (1920–1960) развитие города подошло к своему пространственному пределу: стали заканчиваться свободные ресурсы территории и в пространственное развитие стали вовлекаться торфяники и водно-болотные угодья. В тот же период были оформлены режимы охраны природных территорий, сформирована система природных парков, окружавших город, – зеленый пояс города. С точки зрения условий устойчивого развития ситуацию нельзя оценить однозначно: с одной стороны, изменены и разрушены природные комплексы, с другой – создана система охраняемых территорий и оформлен правовой режим охраны территорий.

Насколько эффективно работают условия устойчивого развития, можно судить по современному состоянию зеленой инфраструктуры. На сегодня обеспеченность зелеными территориями на одного жителя уменьшилась с 18,6 м² в 2006 г. до 16,87 м² в 2015 г. [14, с.164]. Как отмечалось выше, город имеет одни из самых низких баллов по блоку «Озелененные территории» индекса качества городской среды среди городов-миллионников. В настоящее время продолжается масштабная застройка заболоченных территорий: примерами являются освоение заболоченных территорий микрорайона Светлый (район аэропорта Кольцово), микрорайона Академический в пойме реки Патрушиха и т.д. Перейдем к анализу современного состояния зеленого каркаса.

Зеленый каркас Екатеринбурга

Исторической первой концепцией была концепция водно-зеленого каркаса – полосы вдоль р. Исети. Брендное название проекта «от Виза (имеется ввиду Верх-Исетский завод) до НИЗа (имеется ввиду Нижне-Исетский завод)» [15]. Концепция каркаса соответствует типу б) на рис. (1). В настоящее время данный проект потерял самостоятельное значение и рассматривается как часть проектов большего масштаба.

Следующая попытка определить зеленый каркас Екатеринбурга предпринята в работе О.А. Климановой, Е.Ю. Колбовского, О.А. Иллариновой [16]. Тип каркаса определяется следующим образом: «Основные лесопарки Екатеринбурга не являются модельными зелеными клиньями, однако они обступают город со всех сторон и в некоторой степени вдаются внутрь ядра застройки, таким образом соответствуя определению первого типа (тип а. – А.Г., М.Д., Т.М.) конфигурации».

Иную концепцию зеленого каркаса Екатеринбурга получаем на основе генерального плана Екатеринбурга. На рис. 2 показана схема особо охраняемых природных территорий, взятая из проекта генерального плана Екатеринбурга до 2034 г [17]. На рисунке штриховкой показаны особо охраняемые природные территории. Именно они и образуют природный каркас, состоящий из 15 лесопарков. Общее количество особо охраняемых природных территорий составляет 98 единиц: лесопарки, имеющие статус особо охраняемых природных территорий областного значения, – 15, парки и скверы, имеющие статус особо охраняемых территорий местного значения, – 22, бульвары – 8, статус остальных объектов не определен [18]. Правовой режим особо охраняемых природных территорий описан в работе [19].

В целом каркас зеленой инфраструктуры имеет замкнутую форму и не имеет прототипа на рис. 1. Основные недостатки существующего каркаса:

1. Мозаичный характер и отсутствие связности. Классический зеленый каркас – система ядер и связей между ними. Формально в проекте генерального плана предусмотрено создание коммуникационных коридоров – «зеленых линий». Однако масштаб, «зеленых линий» не соответствует масштабу каркаса. Отсутствует также связность каркаса с природным окружением города, что является принципиальным требованием к зеленому каркасу.
2. Замкнутая пространственная структура каркаса. Основная проблема замкнутых пространственных структур – отсутствие масштабируемости, что является критичным для развивающихся городов. В условиях растущего города антропогенное давление рано или поздно приводит к «разрыву» замкнутой структуры транспортными магистралями, создающими линейные направления, вдоль которых начинается рост городской ткани. Примеров такого рода много, один из самых известных – конфликт вокруг Химкинского леса в Москве [20].
3. Замкнутая конфигурация чревата нежелательными последствиями. Ранее авторы прогнозировали усиление эффекта теплового острова в данной структуре каркаса [2]. Также замкнутый характер каркаса приводит к образованию пояса субурбий уже вокруг самого каркаса [21].

В целом можно заключить, что концепция каркаса зеленой инфраструктуры не соответствует требованиям и нуждается в реорганизации.

Состояние зеленой инфраструктуры Екатеринбурга по данным дистанционного зондирования

Дистанционное зондирование Земли – наблюдение поверхности Земли наземными, авиационными и космическими средствами, оснащенными различными видами съемочной аппаратуры. Космические снимки в настоящее время проводятся в нескольких спектральных диапазонах. Мультиспектральные спутники собирают данные в 5–10 диапазонах спектра. Чаще всего изображение состоит из трех основных цветов и нескольких инфракрасных частей. Данные спутниковых аппаратов по отдельности доступны в каталогах управляющих спутниками организаций. Существуют открытые каталоги, включающие множество датасетов (наборов данных), среди них каталог Google Earth Engine Datasets [22] и материалы Европейского космического агентства [23].

Город в качестве искусственной системы является в то же время элементом системы природной, вступает в прямое взаимодействие с ней. Исследование их взаимодействия, оценка взаимных эффектов от их постепенного слияния позволяет выявлять тенденции, сегодня оставленные вне стратегии планирования, но, тем не менее, способные оказывать колоссальное влияние на систему в целом. Применение методов дистанционного зондирования природного комплекса в градостроительстве обеспечивает возможность



Рис. 3. Значение индекса вегетации для Екатеринбурга. Спутник: Sentinel-2. Дата съемки 17.05.2023

не только визуализировать процессы взаимодействия и взаимопроникновения, но и корректировать в соответствии с результатами само проектное решение на всех уровнях. Технически подобные инструменты сегодня могут быть в полной мере реализованы методами дистанционного зондирования и продвинутыми ГИС-системами. Важно рассматривать городскую и природную среду в качестве взаимосвязанных систем, образующих единое целое.

Система озеленения (зеленая инфраструктура) города изучается с помощью снимков в разных каналах спектра и различных комбинаций таких каналов [24]. Самая известная комбинация спектральных каналов носит название индекса вегетации NDVI [25]. Вегетационный индекс построен так, чтобы выделить ту часть спектра, которая поглощается хлорофиллом растений во время фотосинтеза. Индекс показывает наличие и состояние растительности (относительную биомассу). Значения индекса NDVI меняются от -1 до 1. Значения, меньше 0, характеризуют наличие воды, значения от 0 до 0.2 соответствуют наличию снега, воды, песка и пр. Значения индекса от 0.2 до 0.4 соответствуют травяным покровам, значения 0.4–1.0 соответствуют древесной растительности, причем значения в диапазоне 0.8–1.0 указывают на наличие густой древесной растительности. Важность индекса вегетации связана с тем, что данные дистанционного зондирования используются в методике по оценке качества городской среды [26]. Показатель N14, включенный в блок «озелененные пространства», «рассчитывается с помощью дешифрирования космических снимков и определения доли площади города, покрытой растительностью, в общей площади города». Аналогичный показатель N15 «рассчитывается на основе дешифрирования космических снимков и вычисления вегетационного индекса, как доля территории с озелененными насаждениями повышенной плотности биомассы, в общей площади озеленения города».

На рис. 3 показана карта вегетационного индекса Екатеринбурга по данным Европейского космического агентства.

Нарис. Зобращаютнасебявниманиенизкие значения индекса вегетации в центре города, свидетельствующие об отсутствии биомассы. Также отсутствует читаемый зеленый каркаса в Екатеринбурге: в центре видны многочисленные пустоты; черным пунктиром показаны контуры бывших, ныне застроенных, торфяников. Контуры торфяников сняты с плана Екатеринбурга 1947 г. [27]. Совпадение контуров областей с высоким уровнем вегетационного индекса и контуров бывших торфяников заставляет принять рабочую гипотезу о том, что области с высоким значением вегетационного индекса находятся на остатках водно-болотной системы города.

Чтобы проверить рабочую гипотезу, воспользуемся еще одним индексом – стандартизованным индексом различий увлажненности (NDMI). Индекс чувствителен к уровню влажности в растительности. Индекс используется для оценки контроля содержания воды в растительности, особенно полезен при мониторинге водного стресса растений, оценке условий засухи, оценке риска пожаров и изучении воздействия изменения климата на растительность. Диапазон значений NDMI составляет от -1 до 1. Отрицательные значения NDMI (значения, приближающиеся к -1) соответствуют отсутствию воды (бесплодной почве) – угнетенной растительности. Значения около нуля (от -0,2 до 0,4) обычно соответствуют состоянию недостатка воды у растений – водному стрессу. Высокие положительные значения – приблизительно от 0,4 до 1 – соответствуют насыщению растений водой [28].

На рис. 4 показано пространственное распределение индекса NDMI для Екатеринбурга по данным Европейского космического агентства. На рисунке выделяются синим цветом области с достаточным количеством влаги в листьях. Сравнивая с рис. 3 (индекс вегетации), убеждаемся, что зоны с высоким содержанием влаги в листьях совпадают с территориями, где сосредоточено наибольшее количество биомассы. В целом это понятный и логичный вывод. Контуры черного цвета на рис. 4 – территории бывших торфяников. Также убеждаемся, что полноценное насыщение водой растений происходит на остатках природного ландшафта – на территориях бывших торфяников и водно-болотных угодий, в которых частично сохранился водный баланс. И наоборот, в центре города видны области, в которых растительность находится в угнетенном состоянии из-за отсутствия достаточного количества влаги, что также подтверждает рабочую гипотезу.

Таким образом, причина отсутствия растительности в центре города – нарушение природного рельефа, приводящего к нарушению водного баланса территории с последующим недостатком растительной биомассы. Таким образом, рис. 5 дополняет рис. 3 и объясняет общие закономерности формирования индекса вегетации.

Еще одним способом проверить сделанные выводы является использование коротковолновых инфракрасных (SWIR) измерений, которые могут помочь ученым оценить, сколько воды присутствует в растениях и почве, поскольку вода поглощает SWIR-волны. На этом индексе растительность выглядит в оттенках зеленого, почва и застроенные территории – в различных оттенках коричневого, а вода кажется черной. На рис. 5 показаны значения индекса SWIR по данным Европейского космического агентства. Первое, что следует отметить: схема индекса выглядит визуально более привычно для архитекторов и градостроителей; второе – пространственная корреляция с рис. 4, 3, где по-прежнему наиболее благоприятное состояние растительной биомассы наблюдается в зонах, богатых водой – на территориях бывших торфяников. А наименее бедные водой области приходятся на центр города, на область водно-зеленого каркаса.

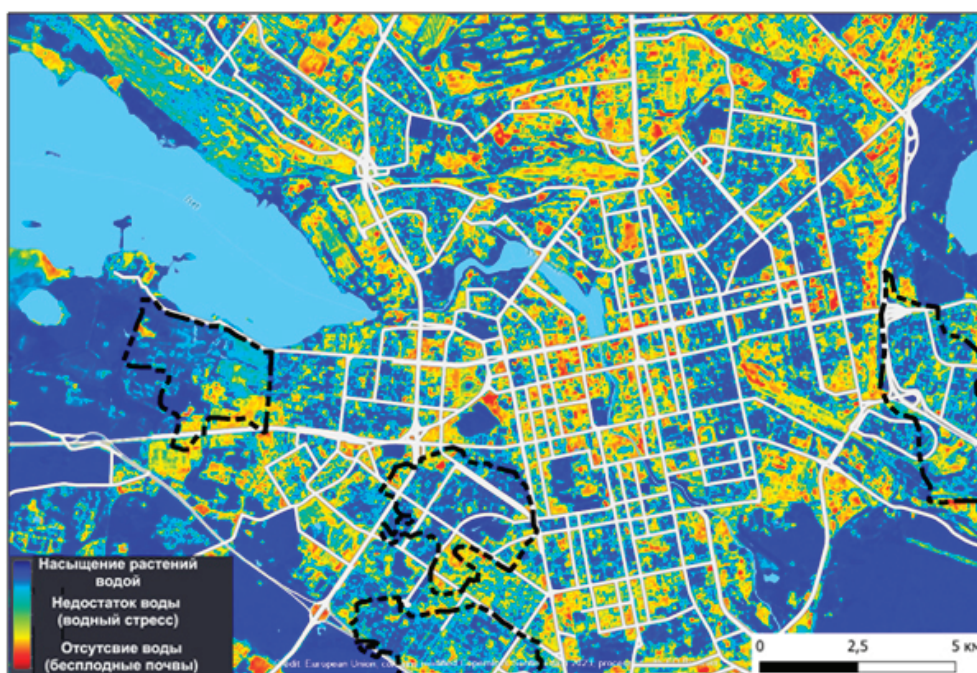


Рис. 4. Значения индекса нормализованной влажности NDMI. Спутник: Sentinel-2. Дата съемки: 07.05.2023



Рис. 5. Значения индекса SWIR для Екатеринбурга. Спутник: Sentinel-2. Дата съемки: 08.07.2023

Выводы, полученные при анализе трех различных индексов дистанционного зондирования:

1. Данные разных индексов согласуются друг с другом и подтверждают рабочую гипотезу о том, что зеленая инфраструктура имеет мозаичный характер и сосредоточена на остатках природного ландшафта, в низинах, где ранее находились торфяники и водно-болотные угодья.
2. Отсюда следует, что зеленую инфраструктуру необходимо располагать в местах с наибольшим содержанием воды, чтобы обеспечить ее устойчивость и снизить издержки на ее содержание.
3. При расположении зеленой инфраструктуры в неблагоприятных местах следует подбирать растения, наиболее устойчивые по отношению к водному стрессу.
4. Природный рельеф на приречной территории р. Исеть нарушен необратимо, что приводит к нарушению водного баланса и угнетенному состоянию растительности.

Вывод подтверждается результатами фотофиксации (рис. 6).

Обобщающие схемы взаимодействия каркасов различного типа: природного (зеленой инфраструктуры), планировочного и водного – показаны на рис. 7.

Перспективы развития зеленой инфраструктуры города

В проекте генерального плана Екатеринбурга заложена концепция реорганизации зеленой инфраструктуры города. Реорганизация заключается в том, что каркас зеленой инфраструктуры остается неизменным, но для усиления связей между элементами каркаса создается система озелененных территорий вдоль основных транспортных магистралей (рис. 8). В целом данное решение теоретически может повысить комфорт отдельных улиц города: позволит перехватывать часть выхлопных газов, создаст незначительный буфер между непосредственно транспортными артериями города и пешеходными зонами, снизит общую



Рис. 6. Состояния р. Исети. Место съемки: мост на ул. Куйбышева,
Дата съемки 07.07.2022, 12.07.2023. Фото: А.Н. Гушин

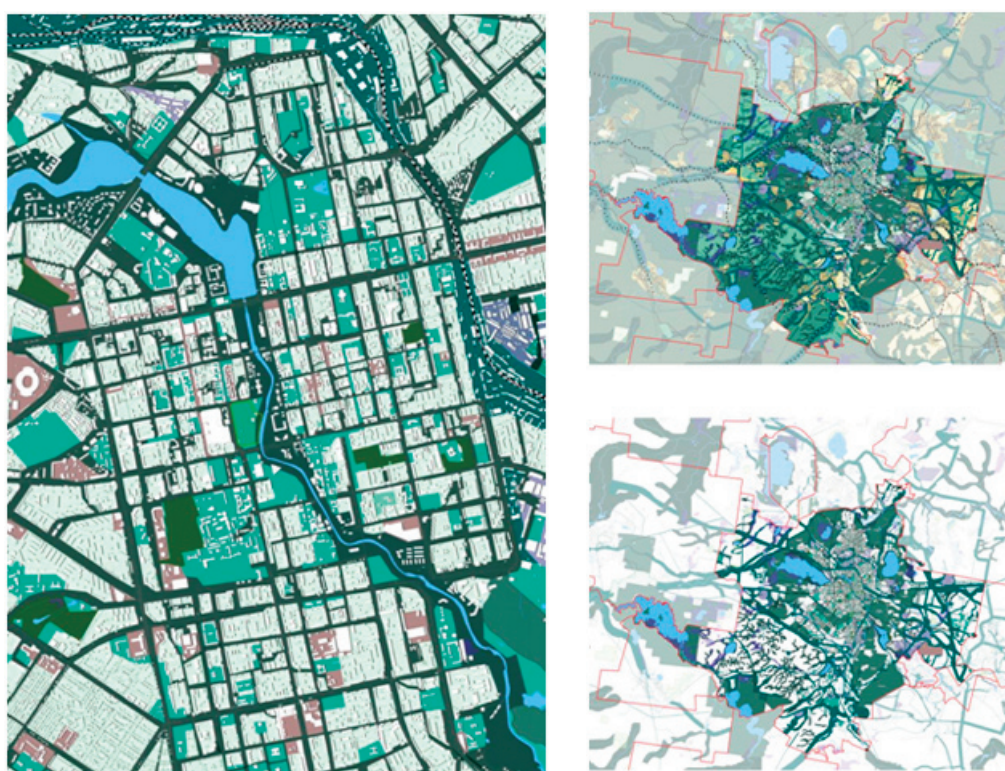


Рис. 7. Схемы взаимодействия градостроительного, водного и природного каркасов [6]

их температуру. Тем не менее, это еще не обеспечит качественной стабилизации экологической ситуации в рамках всей системы. Эти вполне проверенные решения лишь сделают город более расположенным к его жителям, повысят совокупный уровень комфорта. Фактически к решению этой задачи функция зеленой инфраструктуры и сведется. Однако это не снизит процессы деградации за пределами центра города, несколько улучшив состояние только выявленных анклавов озеленения в городской среде. Каркас зеленой инфраструктуры остается прежним. Приречная территория реки преобразуется в набережную, что подтверждает вывод о необратимом разрушении природного ландшафта.

Основным недостатком предложенной концепции является ее локальный характер: она не приведет к существенному увеличению показателей индекса качества городской среды, для чего необходимо существенное увеличение общего объема растительной биомассы. Сопоставление рис. 8 и 3 показывает, что наиболее бедные биомассой территории в центре города никак не затрагиваются концепцией, не учитывается водный режим на участках озеленений.

По мнению авторов, оптимальной стратегией формирования зеленой инфраструктуры и всего экологического каркаса было бы «уплотнение каркаса» – формирование более развитой системы



Рис. 8. Концепция организации зеленой инфраструктуры. Генеральный план Екатеринбурга до 2045 г. [29]

озелененных территорий, способных как соединить существующие наиболее устойчивые озелененные территории, так и сформировать новые. Зеленые ядра должны располагаться в местах, насыщенных водой, что обеспечило бы устойчивость зеленых островов и снизило бы эксплуатационные издержки. Система ядер сформировала бы новые комплексы устойчивой «искусственной» природной среды в городе и позволило бы развивать его системным образом. Положение зеленых островов легко определить по данным дистанционного зондирования. В дальнейшем систему зеленых островов можно интегрировать в зеленый каркас для реструктуризации каркаса. Уплотнение каркаса усиливало бы фрактальный характер каркаса, его непрерывность.

Следующим стратегическим шагом после уплотнения каркаса могла бы стать его реконфигурация – переход к системе «зеленых клиньев».

Заключение

В статье рассмотрены возможности использования данных дистанционного зондирования. Совокупность рассматриваемых систем может позволить не только сформировать зеленую инфраструктуру отдельного населенного пункта, но и развивать эту систему в нечто большее. Единый совокупный природно-экологический каркас как часть градостроительной деятельности в рамках не только одного отдельно взятого города, но и всей системы расселения – истинный потенциал подобного комплекса решений. Вне всяких сомнений, создание механизмов комплексного и системного анализа, разработка развитого и гибкого инструментария градостроительного планирования – ключ к обеспечению устойчивого развития в будущем. Неочевидные факторы, косвенные, как принято сегодня их воспринимать, в действительности оказывают значительно большее воздействие на систему, чем те, которые сегодня воспринимаются в качестве ведущих. Способность сегодня закладывать в модель управления то, что в перспективе станет «серьезной проблемой и вызовом, требующим углубленного изучения», может позволить избежать возможных градостроительных ошибок. Обширное и детальное изучение специфических особенностей

среды, в которой мы сегодня создаем наши искусственные анклавы – одно из таких направлений. Правильное применение современных технологий, в свою очередь, способно обеспечить лучшее будущее для территорий, которые мы разрабатываем.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Официальный портал Екатеринбург.рф Генеральный план (Территориальное планирование). Екатеринбург.рф – URL: <https://екатеринбург.рф/дляработы/гиз/градостроительство/документация/гп>
2. Гуцин, А.Н. Зеленая инфраструктура Екатеринбурга. Современное состояние и пути развития / А.Н. Гуцин, М.Н. Дивакова // Архитектон: известия вузов. – 2022. – №4(80). – URL: http://archvuz.ru/2022_4/23/ – doi: 10.47055/1990-4126-2022-4(80)-23
3. Benedict, M.A. Green infrastructure: Smart Conservation for the 21 Century / Mark A. Benedict. Edward McMahon. – Washington. D. C.: IslandPress. 2006. – 303 s.
4. Слепнев, М. Формирование природного каркаса в генеральных планах городов / М. Слепнев, А. Маршалкович. – Litres, 2022.
5. Пивкин, В.М. О новой парадигме ландшафтной архитектуры / В.М. Пивкин, Л.Н. Чиндяева // Известия вузов. Строительство. – 2008. – №. 11–12. – С. 72–85.
6. Мусаев, Т.И. Эколого-градостроительный каркас муниципального образования г. Екатеринбурга: выпускная квалификационная работа. Кафедра градостроительства и ландшафтной архитектуры / Т.И. Мусаев. – Екатеринбург: УрГАХУ, 2022.
7. Хорошев, А. Полимасштабная организация географического ландшафта / А. Хорошев. – Litres, 2022.
8. Гуцин, А.Н., Дивакова, М.Н. Водно-зеленый каркас Екатеринбурга: история, проблемы, будущее / А.Н. Гуцин, М.Н. Дивакова // Архитектон: известия вузов. – 2022. – № 2 (78). – URL: http://archvuz.ru/2022_2/21/ – doi: 10.47055/1990-4126-2022-2(78)-21
9. Водно-зеленая система Минска в мировом контексте: история, логика развития и будущее // Минская урбанистическая платформа. – URL: <https://urbanist.by/green-diameter/>
10. Бондарчук, О.А. Водно-зелёный диаметр города Бреста / О.А. Бондарчук. – Брест: БрГТУ, 2016. С. 251–253
11. Пилотами первого этапа российско-французского проекта «Водно-зеленый городской каркас» стали Екатеринбург, Казань и Краснодар // Минстрой России. – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/press/pilotami-pervogo-etapa-rossiysko-frantsuzskogo-proekta-vodno-zelenyy-gorodskoy-karkas-stali-ekaterin/>
12. Евгений Куйвашев инициировал разработку плана развития водно-зелёного каркаса Екатеринбурга : Офиц. сайт Правительства Свердловской области. – URL: <http://midural.ru/news/list/document184484/>
13. Сродных, Т.Б. Становление системы озеленения г. Екатеринбурга / Т.Б. Сродных // Леса России и хозяйство в них. – 2009. – №. 4 (34). – С. 48–53.
14. Стратегия пространственного развития Екатеринбурга, концепция (коллектив авторов) – Екатеринбург: TATLIN, 2017. – 312 с
15. Информационный портал Екатеринбурга. От ВИЗа до НИЗа: проект крупнейшей набережной в Европе получил дальнейшее развитие. 18 октября 2022. 17:20. – URL: <https://www.ekburg.ru/news/24/88997-ot-viza-do-niza-proekt-krupneyshey-naberezhnoy-v-evrope-poluchil-dalneyshee-razvitie/>
16. Климанова, О.А. Зеленая инфраструктура города: оценка состояния и проектирование развития / О.А. Климанова, Е.Ю. Колбовский, О.А. Илларионова. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2020. – 324с.
17. Официальный портал Екатеринбург.рф. Карта особо охраняемых природных территорий федерального, регионального, местного значения городского округа – муниципального образования “Город Екатеринбург” – URL: [https://обсуждения.екатеринбург.рф/file/fb915180e71e9f8031952463cdf63ea0\(25.07.2023\)](https://обсуждения.екатеринбург.рф/file/fb915180e71e9f8031952463cdf63ea0(25.07.2023))
18. ООПТ России. г. Екатеринбург. – URL: <http://www.oopt.aari.ru/category/Административно-территориальное-деление/Уральский-федеральный-округ/Свердловская-область-11>
19. Зайцев О.Б. Особо охраняемые природные территории города Екатеринбурга / О.Б. Зайцев, В.Е. Поляков. – Екатеринбург, 2015. – 51с. – URL: <https://екатеринбург.рф/file/66b81307bd3ae3dc9dad15f5c5a3c8b0>
20. Конфликт вокруг Химкинского леса. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Конфликт_вокруг_Химкинского_леса
21. Матвейшина М.Е. Развитие процесса субурбанизации на примере Белгородской агломерации / М.Е. Матвейшина // Вестник ИрГТУ. – 2015. – №. 6 (101). – С. 98–107.
22. Google Earth Engine Datasets. Datasets. – URL: <https://earth.engine.google.com/datasets/>
23. EO browser. – URL: <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/>
24. Галерея индексов. Главная страница Esri. – URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/data/imagery/indices-gallery.htm>
25. Вегетационные индексы. GISLab. Географические информационные системы и дистанционное зондирование. – URL: <https://gis-lab.info/qa/vi.html>

26. Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 23 марта 2019 года N 510-р [Об утверждении методики формирования индекса качества городской среды] (с изм. на 30 декабря 2020 года)
27. План Свердловска – 1947 год.– URL: <http://www.1723.ru/read/map/1947.htm>
28. Normalized Difference Moisture Index (NDMI). Sentinel Hub. <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/ndmi/>
29. Официальный портал Екатеринбург.рф. Генеральный план (Территориальное планирование). Карта планируемого размещения ОМЗ озелененных территорий общего пользования. Лист 1. – URL: <https://екатеринбург.рф/file/bd31d132ee1397893ad691376495f317>

REFERENCES

1. General Plan (Territorial Planning). (2023). Official portal Yekaterinburg.rf. Available from: <https://екатеринбург.рф/дляработы/гиз/градостроительство/документация/гп> (in Russian).
2. Gushchin, A.N. Divakova. (2022). Green infrastructure of Yekaterinburg. Current state and ways of development. Architecton: Proceedings of Higher Education, No.4(80). Available from: http://archvuz.ru/en/2022_4/23/ (in Russian).
3. Benedict, M.A. (2006) Green infrastructure: Smart Conservation for the 21 Century. Washington D.C.: Island-Press.
4. Slepnev, M. Maršalković, A. (2022). Formation of the natural infrastructure framework in general plans of cities. Moscow: Litres (in Russian).
5. Pivkin, V.M., Chindyaeva, L.N. (2008). About the new paradigm of landscape architecture. Izvestia of Higher Educational Institutions. Construction, No.11-12, pp. 72-85 (in Russian).
6. Musaev, T.I. (2022) Ecological and urban planning framework of Yekaterinburg. Graduation qualification work. Ural State University of Architecture and Art. Department of Urban Planning and Landscape Architecture (in Russian).
7. Khoroshev, A. (2022). Polyscale organization of geographical landscape. Moscow: Litres.
8. Gushchin, A.N., Divakova, M.N. (2022) Water-green infrastructure framework of Ekaterinburg: history, problems, future [online]. Architecton: Proceedings of Higher Education, No.2(78). Available from: http://archvuz.ru/en/2022_2/21/ (in Russian).
9. Minsk's water and green system in the global context: history, logic of development, and future (2022). Minsk Urban Platform. Available from: <https://urbanist.by/green-diameter/> (in Russian).
10. Bondarchuk, O.A. (2016). Water-green diameter of the city of Brest. Brest: BrGTU, pp.251-253 (in Russian).
11. Yekaterinburg, Kazan and Krasnodar became pilots of the first stage of the Russian-French project «Water-Green Urban Framework». (2022) Ministry of Construction of Russia. Available from: <https://www.minstroyrf.gov.ru/press/pilotami-pervogo-etapa-rossiysko-frantsuzskogo-proekta-vodno-zelenyy-gorodskoy-karkas-stali-ekaterin/> (in Russian).
12. Evgeny Kuivashev initiated the elaboration of the plan for the development of Ekaterinburg's water and green framework (2021). Official website of the Sverdlovsk Oblast Government. Available from: <http://midural.ru/news/list/document184484/> (in Russian).
13. Srodnykh, T.B. (2009). Establishment of the landscaping system in Yekaterinburg. Forests of Russia and Their Management, No.4 (34), pp. 48-53 (in Russian).
14. Strategy of spatial development of Ekaterinburg: concept (tem of authors) (2017). Ekaterinburg, TATLIN (in Russian).
15. From VIZ to NIZ: the project of the largest embankment in Europe was given further development (2022). Ekaterinburg Information Portal. Available from: <https://www.ekburg.ru/news/24/88997-ot-viza-do-niza-proekt-krupneyshey-naberezhnoy-v-evrope-poluchil-dalneyshee-razvitie/> (in Russian).
16. Klimanova, O.A., Kolbovsky, E.Y., Illarionova, O.A. (2022). Green infrastructure of the city: evaluation and development design. Moscow: Partnership of scientific editions of KMK (in Russian).
17. Map of specially protected natural areas of federal, regional, local significance in the municipality «Ekaterinburg City» (28MB). (2023). The official portal Yekaterinburg.rf. Available from: <https://обсуждения.екатеринбург.рф/file/fb915180e71e9f8031952463cdf63ea0> (in Russian),,
18. Specially Protected Natural Areas (ООПТ) of Russia. (2022). Ekaterinburg. Available from: <http://www.oort.aari.ru/category/Административно-территориальное-деление/Уральский-федеральный-округ/Свердловская-область-11> (in Russian).
19. Zaitsev, O.B. Polyakov, V.E. (2015). Specially protected natural territories of the city of Ekaterinburg. Ekaterinburg. Available from: <https://екатеринбург.рф/file/66b81307bd3ae3dc9dad15f5c5a3c8b0> (in Russian).
20. The conflict over the Khimki forest. (2022). Wikipedia. Available from: https://ru.wikipedia.org/wiki/Конфликт_вокруг_Химкинского_леса (in Russian).
21. Matveishina, M.E. (2015). Development of the suburbanization process on the example of Belgorod agglomeration. Vestnik of Irkutsk State Technical University, No. 6 (101), pp. 98-107 (in Russian).
22. Datasets. (2023). Google Earth Engine Datasets. Available from: <https://earthengine.google.com/datasets/>

23. EO browser. (2023). Sentinelhub. Available from: <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/>
24. Gallery of Indices. (2023). Esri Home Page. Available from: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/data/imagery/indices-gallery.htm>
25. Vegetation indices. (2023). GISLab. Geographic information systems and remote sensing. Available from: <https://gis-lab.info/qa/vi.html>
26. On approval of the methodology for the formation of the urban environment quality index. (2019) Government of the Russian Federation. Order of March 23. N 510-r
27. Plan of Sverdlovsk - 1947. (2023). RetroMap. Available from: <http://www.1723.ru/read/map/1947.htm> (in Russian).
28. Normalized Difference Moisture Index (NDMI). (2023). Sentinel Hub. Available from: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/ndmi/>
29. Map of planned location of OMZ green areas of public use. Sheet 1. (2023) General Plan (Territorial Planning). Official portal Yekaterinburg.rf. Available from: <https://екатеринбург.рф/file/bd31d132ee1397893-ad691376495f317> (in Russian).

© Гуштин А. Н., Дивакова М. Н., Мусаев Т. И., 2023



Лицензия Creative Commons

Это произведение доступно по лицензии Creative Commons "Attribution-ShareALike" ("Атрибуция - на тех же условиях"). 4.0 Всемирная