

ГЕОЭКОЛОГИЯ GEOECOLOGY


DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-2-321-333

EDN: PEWZWI

УДК 911.52

Научная статья / Research article

Геоэкологическая оценка структурной устойчивости горного города на основе морфологического анализа и метода CRITIC

Д.Е. Кучер , В.А. Дмитриев  *Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация* dmitrieff200@yandex.ru

Аннотация. Горные города характеризуются высокой пространственной неоднородностью, ограниченностью пригодных для застройки территорий и повышенной уязвимостью к антропогенному воздействию. Авторами представлен подход к оценке пространственной структуры и экологической устойчивости горных городов на основе интегрального индекса структурно-планировочных показателей, апробированный на примере г. Владивосток. Индекс сформирован с использованием показателей, характеризующих структуру водно-зеленого каркаса города. Структурные элементы зеленой инфраструктуры выделены методом морфологического пространственного анализа (MSPA), веса показателей определены методом CRITIC с учетом их вариабельности и взаимной корреляции. Полученный индекс позволил выявить выраженную пространственную дифференциацию экологической устойчивости территории Владивостока, связанную с особенностями рельефа, планировочной структуры и функционального зонирования. Результаты исследования демонстрируют возможности использования предложенного подхода для выявления уязвимых и резервных территорий и его применения при зонировании приоритетов озеленения, установления природоохранных режимов и пространственного планирования горных городов.

Ключевые слова: экологическая устойчивость, зеленая инфраструктура, MSPA-анализ

Вклад авторов. *Дмитриев В.А.:* формулирование идеи; разработка и проектирование методологии исследования; реализация компьютерного кода и вспомогательных алгоритмов; формальный анализ; проведение исследования; создание рукописи и ее редактирование; визуализация. *Кучер Д.Е.:* формулирование исследовательских целей и задач; администрирование проекта; руководство исследованием. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

© Кучер Д.Е., Дмитриев В.А., 2026

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявление об использовании технологий искусственного интеллекта. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Заявление о доступности данных. Данные, использованные в этом исследовании, могут быть предоставлены автором по обоснованному запросу в связи с существенным объемом.

История статьи: поступила в редакцию 24.12.2025; доработана после рецензирования 13.02.2026; принята к публикации 06.02.2026.

Для цитирования: Кучер Д.Е., Дмитриев В.А. Геоэкологическая оценка структурной устойчивости горного города на основе морфологического анализа и метода CRITIC // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 2. С. 321–333. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-2-321-333> EDN: PEWZWI

Geocological assessment of the structural stability of a mountain city based on morphological analysis and the CRITIC method

Dmitry E. Kucher , Vladimir A. Dmitriev  

RUDN University, Moscow, Russian Federation
dmitrieff200@yandex.ru

Abstract. Mountain cities are characterized by high spatial heterogeneity, limited territories suitable for development, and increased vulnerability to anthropogenic impact. The research presents an approach to assessing the spatial structure and environmental sustainability of mountain cities based on an integral index of structural and planning indicators, tested on the example of Vladivostok. The index is formed using indicators characterizing the structure of the city's water-green framework. The structural elements of the green infrastructure were identified by the method of morphological spatial analysis (MSPA), the weights of the indicators were determined by the CRITIC method, taking into account their variability and mutual correlation. The obtained index made it possible to identify a pronounced spatial differentiation of the ecological stability of the territory of Vladivostok, related to the features of the relief, planning structure and functional zoning. The results of the study demonstrate the possibilities of using the proposed approach to identify vulnerable and reserve territories and its application in the zoning of landscaping priorities, the establishment of environmental protection regimes and spatial planning of mountain towns.

Keywords: mountain cities, geocological assessment, environmental sustainability, green infrastructure, MSPA analysis

Authors' contribution. *V.A. Dmitriev:* ideas; development and design of methodology; implementation of computer code and supporting algorithms; formal analysis; investigation; writing — review & editing; visualization. *D.E. Kucher:* formulation or evolution of overarching

research goals and aims; management and coordination responsibility for the research activity planning and execution; supervision. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Statement on the use of artificial intelligence technologies. No generative artificial intelligence technologies were used in the creation of this article.

Data availability statement. The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request due to the substantial volume.

Article history: received 24.12.2025; revised 13.02.2026; accepted 06.02.2026.

For citation: Kucher DE, Dmitriev VA. Geocological assessment of the structural stability of a mountain city based on morphological analysis and the CRITIC method. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(2):321–333. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-2-321-333> EDN: PEWZWI

Введение

Горные города занимают особое место среди урбанизированных территорий, формируясь в условиях геоморфологической неоднородности, высокой степени расчлененности территории и выраженной вертикальной зональности. С точки зрения экологического благополучия горные города представляют собой особенно чувствительные к антропогенному воздействию территории. В широком смысле к горным городам допустимо отнести те населенные пункты, которые полностью или существенно расположены в пределах горных территорий [1].

В рамках настоящего исследования под границами горных территорий понимаются предложенные в рамках работ [2; 3].

Горные города отличаются ограниченностью подходящих для застройки территорий, высокой стоимостью перемещения, фрагментированностью, большой степенью зависимости от опасных геологических процессов. В этих условиях особую значимость приобретает анализ пространственной структуры горных городов, позволяющий выявить закономерности взаимодействия рельефа, застройки, транспортной сети и природных элементов [1].

Согласно используемым данным горные территории занимают 27,6 % территории Российской Федерации, в их пределах расположено 186 населенных пунктов, отнесенных к городским, и проживает примерно 55,1 млн человек (2024 г.)¹.

В рамках настоящей работы предлагается к рассмотрению результат исследования пространственной структуры и экологической устойчивости горных городов Российской Федерации на примере города Владивостока, выпол-

¹ Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям // Федеральная служба государственной статистики : официальный сайт. URL: <https://www.rosstat.gov.ru/compendium/document/13282> (дата обращения: 26.10.2026).

ненный в формате пространственного индекса структурных планировочных показателей. Индекс ориентирован на выявление и количественную оценку ключевых элементов «зеленого» каркаса города и степени их интеграции в планировочную структуру территории. Таким образом, *целью исследования* является разработка и апробация пространственного индекса структурных показателей горных городов.

Материалы и методы

Владивосток — административный и экономический центр Приморского края и Дальневосточного федерального округа. Город располагается на полуострове Муравьева-Амурского, в состав города также включены острова Русский, Попова и др. В рамках исследования г. Владивосток анализировался в пределах административной территории городского округа Владивосток площадью 757 км². Территория города разнообразна в рельефном плане — представлены приморские равнины, поймы рек, низкогорья и среднегорья.

Зеленый каркас городов традиционно рассматривается как экологическое ядро города (рис. 1).

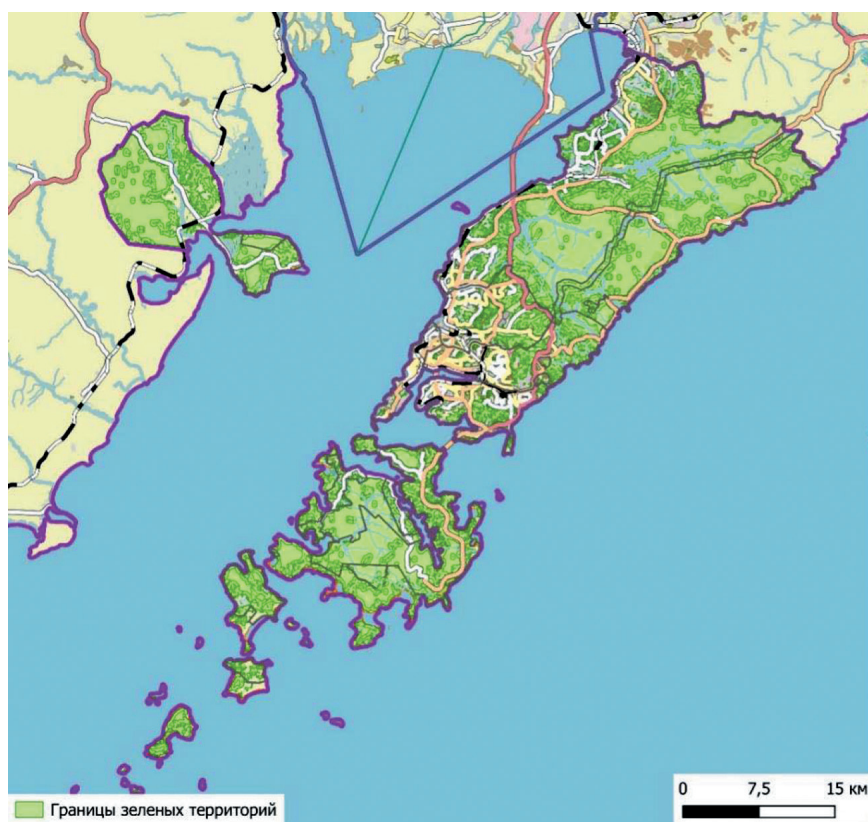


Рис. 1. Схема зеленой инфраструктуры Владивостока
Источник: выполнено В.А. Дмитриевым.

Зеленые зоны являются зонами концентрации биоразнообразия, депонирования загрязнителей, защитой от эрозии [4]. Озелененные территории рассматриваются многими исследователями как ядра жизнеспособных популяций городских животных и растений [4–9].

К параметрам зеленых зон было предложено добавить «голубую» составляющую инфраструктуры города. «Голубой» каркас города выполняет ключевую роль в дренаже и отводе стока, кроме того, для горных городов водные объекты являются основным источником пресной воды, формируют морфологическую структуру городов [10]. Роль водного каркаса обуславливается необходимостью управлять не только водными ресурсами, но и снижать влияние опасных природных процессов, таких как сели, наводнения, уменьшать влияние городского острова тепла, поддерживать биоразнообразие [11; 12].

Расчет переменных производился как на всю территорию г. Владивосток, так и по сетке. Сетка представляла собой совокупность квадратов 1,5×1,5 км, охватывавших исключительно территорию административных границ г.о. Владивосток. В табл. 1 представлен свод показателей индекса.

Таблица 1. Анализируемые переменные

№	Переменная	Единица измерения	Краткое описание
1.	Доля «изолированных» зеленых территорий	%	
2.	Доля «ядер»	%	Доля «ядерных» участков зеленых территорий от общей площади. «Ядерные» участки занимали суммарно 42,1 % территории г.о. Владивосток. Медианное значение доли по сетке составило 21,2 %, медианная площадь по секторам — 17,2 га
3.	Фрагментированность зеленых территорий	шт./га	Количество индивидуальных зеленых объектов на квадратный километр. Медианное значение фрагментированности составило 2,67 шт./га
4.	Обеспеченность зелеными зонами на 1 человека в пределах критериев доступности	м ² /чел.	Количество га зеленых зон на 1 человека в пределах пешей доступности от жилых зданий
5.	Встречаемость краснокнижных видов на 1 га	шт./га	Количество краснокнижных видов, зафиксированных в пределах территории, в пересчете на площадь
6.	Доля закрытых русел	%	Доля русел, закрытых канализацией от общей протяженности русел в пределах города
7.	Плотность водной сети	км/км ²	Суммарная длина открытых водотоков на единицу площади
8.	Доля водоохраных зон, сохранивших природный характер	%	Доля водоохраных зон без застройки и искусственного покрытия

Источник: составлено В.А. Дмитриевым.

Переменные, связанные с зелеными территориями, основываются на данных [13]. В качестве «зеленой» рассматривались территории с плотностью крон более 10 %, что позволило отсечь случайно определенные пиксели. Всего территория г. Владивосток в пределах административных границ озеленена на 55,0 %.

Переменные, связанные с биоразнообразием, были рассчитаны на основе данных наблюдения пользователей открытой платформы iNaturalist². Параметры, связанные с водными объектами, были получены на основе данных Open Street Map. Население по зданиям было рассчитано исходя из средней обеспеченности жильем в 26,6 м² жилой площади на человека³ и данных о жилой площади домов⁴.

Связность зеленых территорий с водными объектами определялась на основе пересечения единиц зеленых территорий — скверов, парков и лесных массивов с водоохранными зонами рек и моря. Связность составила 46,1 % в среднем по городскому округу.

Доля водоохраных зон, сохранивших природный характер, оценивалась на основе открытых данных и данных дистанционного зондирования,

В рамках настоящей работы применены методы геоинформационного моделирования, включая MSPA-анализ, проведены предобработка данных, проверка независимости показателей, оценка весов исследуемых переменных, расчет интегрального индекса.

MSPA-анализ — это метод пространственного анализа, основанный на математической морфологии растровых данных и предназначенный для формализованной классификации зеленых территорий на структурные элементы экологического каркаса (ядра, мосты, коридоры, ответвления, края и изолированные пятна) с целью оценки целостности, связности и пространственной организации зеленой инфраструктуры города [14]. В рамках настоящей работы в результате MSPA-анализа было выделено 9 типов зеленых территорий, подробное описание дано в табл. 2.

Обеспеченность зелеными зонами на 1 человека в пределах критериев доступности рассчитывалась исходя из площади зеленого объекта и его доступности. Парки и зеленые территории допустимо разделить на следующие категории: парки районного значения, парки общегородского значения, парки регионального и федерального значения, однако в рамках настоящего исследования парки регионального и федерального значения не выделялись⁵. Также на основании регионального критерия г. Москвы⁶ допустимо выделить

² iNaturalist. URL: <https://www.inaturalist.org/> (дата обращения: 26.01.2026).

³ Объем введенного в эксплуатацию жилья в Приморье вырос на 7 % // РБК : официальный сайт. URL: <https://prim.rbc.ru/prim/interview/19/11/2025/691cfe979a794767fc2b1850?ysclid=mnofm8ukyh293640682> (дата обращения: 26.01.2026).

⁴ Открытые данные // Фонд развития территорий. URL: <https://витрина.фрт.рф/opendata?gid=2213474&page=1&pageSize=32> (дата обращения: 26.01.2026).

⁵ СП 475.1325800.2020. Свод правил. Парки. Правила градостроительного проектирования и благоустройства (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 22.01.2020 № 26/пр). URL: <https://sro-a.ru/upload/medialibrary/b54/SP-475.1325800.2020.-Svod-pravil.-Parki.-Pravila-gradstroit.pdf?ysclid=mnofpwr051357199787> (дата обращения: 26.01.2026).

⁶ Постановление Правительства Москвы от 06.08.2002 № 623-ПП «Об утверждении Норм и правил проектирования комплексного благоустройства на территории города Москвы МГСН 1.02-02». URL: <https://www.mos.ru/upload/documents/files/4323/623-PP.ttf> (дата обращения: 26.01.2026).

скверы как единицы зеленой инфраструктуры, площадью меньше парка. В табл. 3 представлены критерии выделения различных типов зеленой инфраструктуры и рекомендации по их доступности.

Таблица 2. Классы зеленой инфраструктуры, полученные в результате MSPA-анализа

№	Класс	Описание
1.	Ареал	Внутренние части относительно крупных ядер
2.	Внутренний буфер	Периферийная полоса по периметру ядра
3.	Залив	Перфорация, разрыв в краевой части ядра, связанная с запечатанной площадью
4.	Коридор	Элемент, соединяющий между собой два любых ядерных ареала
5.	Край	Периферийная полоса по периметру ядра
6.	Остров	Изолированный фрагмент
7.	Ответвление	Частично изолированный фрагмент, соединенный с краем ядерного ареала
8.	Петля	Элемент, причленяющий к ядру небольшое пространство неозеленной территории
9.	Разрыв	Небольшой по площади разрыв внутреннего ареала, раскрывающий пиксели неозеленной территории, со всех сторон окруженный зелеными зонами

Источник: составлено В.А. Дмитриевым с использованием [15].

Таблица 3. Критерии выделения типов зеленой инфраструктуры

№	Тип зеленой инфраструктуры	Критерий площади	Критерий доступности
1.	Сквер	До 0,5 га	400 м
2.	Парк районного значения	2–10 га	20 мин
3.	Парк общегородского значения	Более 10 га	45 мин

Источник: составлено В.А. Дмитриевым с использованием: СП 475.1325800.2020. Свод правил.

Парки. Правила градостроительного проектирования и благоустройства (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 22.01.2020 № 26/пр).

URL: <https://sro-a.ru/upload/medialibrary/b54/SP-475.1325800.2020.-Svod-pravil.-Parki.-Pravila-gradostroitoi.pdf?ysclid=mnofpwr051357199787> (дата обращения: 26.01.2026);

Постановление Правительства Москвы от 06.08.2002 № 623-ПП «Об утверждении Норм и правил проектирования комплексного благоустройства на территории города Москвы МГСН 1.02-02». URL: <https://www.mos.ru/upload/documents/files/4323/623-PP.rtf> (дата обращения: 26.01.2026).

Таким образом, обеспеченность скверами была рассчитана на основе создания маски в 400 м вокруг жилых зданий, обеспеченность парками районного значения была рассчитана посредством создания маски в 20 мин пешего пути при пересчете на стоимость перемещения с учетом уклона поверхности и средней скорости пешей ходьбы, парк общегородского значения — маской в 45 мин аналогичным способом. Общая обеспеченность складывалась из суммарной площади доступных скверов, парков районного и общегородского значения.

Оценка биоразнообразия базировалась на основе расчета частоты встречаемости уникальных видов и уникальных краснокнижных видов на 1 га площади территории и участка сетки. Доля закрытых русел оценивалась на основе данных дистанционного зондирования, полученных из открытых источников и данных open street map (OSM).

Предобработка данных включала в себя заполнение пропусков при расчете переменных доли туннелированных рек, площади «изолированных» и «ядерных» зеленых зон, плотности водных объектов, расчете площадей. Выбросов и нарушений в данных не обнаружено.

Независимость показателей оценивалась на основе расчета корреляции Спирмана. Выбор данного метода основан на непараметрическом характере переменных и отсутствии предпосылок к выявлению нормальности распределения данных [16]. В табл. 4 представлен расчет коэффициента Спирмана для анализируемых данных.

Таблица 4. Коэффициент Спирмана для переменных

№	Переменная	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Доля «изолированных» зеленых территорий	1,00	-0,51	0,76	-0,13	0,20	0,10	0,03	0,41
2.	Доля «ядер»	-0,51	1,00	-0,34	0,45	-0,03	0,00	0,28	-0,16
3.	Фрагментированность зеленых территорий	0,76	-0,34	1,00	-0,06	0,17	0,08	0,05	0,35
4.	Обеспеченность зелеными зонами на 1 человека в пределах критериев доступности	-0,13	0,45	-0,06	1,00	0,10	0,06	0,25	0,03
5.	Встречаемость краснокнижных видов на 1 га	0,20	-0,03	0,17	0,10	1,00	0,03	0,11	0,13
6.	Доля закрытых русел	0,10	0,00	0,08	0,06	0,03	1,00	0,31	0,13
7.	Плотность водной сети	0,03	0,28	0,05	0,25	0,11	0,31	1,00	0,30
8.	Доля водоохранных зон, сохранивших природный характер	0,41	-0,16	0,35	0,03	0,13	0,13	0,30	1,00

Источник: составлено В.А. Дмитриевым.

Анализ независимости переменных показал существенную связь между «изолированными» зелеными зонами и фрагментированностью — 0,76, а также существенную связь между «изолированными» и «ядерными» зелеными зонами. Поскольку аналитически данные показатели различны и позволяют оценить не только абсолютное значение площади «изолированных» зеленых зон, но и их реальное распределение на участки, так как они могут быть и относительно крупными, и относительно мелкими, обе переменные были оставлены в анализе. Кроме того, далее, в рамках расчета весов была учтена взаимосвязь показателей, что потенциально снизило последствия зависимости переменных.

Индекс структурных показателей водно-зеленой инфраструктуры г.о. Владивосток основывался на сумме нормированных, распределенных на положительные и отрицательные, показателей с поправкой на вес показателя. Общая формула индекса структурных показателей выглядела следующим образом:

$$I_{\text{ст}} = \sum(X_{\text{норм}} \cdot \alpha), \quad (1)$$

где $X_{\text{норм}}$ — нормированное значение переменной; α — вес переменной.

Нормирование переменных основывалось на Min-Max-нормализации. Значение переменной — на положительной или отрицательной оценке критерия. Так, к отрицательным относились доля туннелированных рек и фрагментированность зеленых территорий.

Веса переменных рассчитывались на основе метода Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) — метода многокритериального принятия решений, который позволяет определять веса показателей на основе их разброса значений и корреляции с другими признаками [17]. Общая формула расчета веса переменной [17]:

$$\alpha_j = \frac{std(X_{norm_j}) \cdot \sum (1 - |r_{jk}|)}{\sum_{j=1}^m (std(X_{norm_j}) \cdot \sum (1 - |r_{jk}|))}, \quad (2)$$

где X_{norm} — нормированное значение переменной; r_{jk} — значение корреляции Спирмана.

Веса переменных, полученных в результате расчетов, приведены в табл. 5.

Таблица 5. Веса, полученные по методу CRITIC

№	Переменная	Вес CRITIC
1.	Доля «изолированных» зеленых территорий	0,0811
2.	Доля «ядер»	0,2051
3.	Фрагментированность зеленых территорий	0,1163
4.	Обеспеченность зелеными зонами на 1 человека в пределах критериев доступности	0,2617
5.	Встречаемость краснокнижных видов на 1 га	0,0493
6.	Доля закрытых русел	0,1408
7.	Плотность водной сети	0,1192
8.	Доля водоохраных зон, сохранивших природный характер	0,0265

Источник: составлено В.А. Дмитриевым.

Анализ весов переменных показывает, что математически наиболее «сильной» переменной является обеспеченность зелеными зонами, далее — доля «ядер» и доля закрытых русел. Наименее «сильные» переменные — доля водоохраных зон, сохранивших природный характер, встречаемость краснокнижных видов, доля «изолированных» зеленых территорий.

Результаты

Получен интегральный индекс структурных планировочных показателей в пределах г.о. Владивосток (рис. 2).

В рамках анализа индекс был разделен на четыре класса по методу Дженкса: уязвимый, умеренно уязвимый, умеренно благополучный и благополучный. Среднее значение индекса по городу составило 0,25.

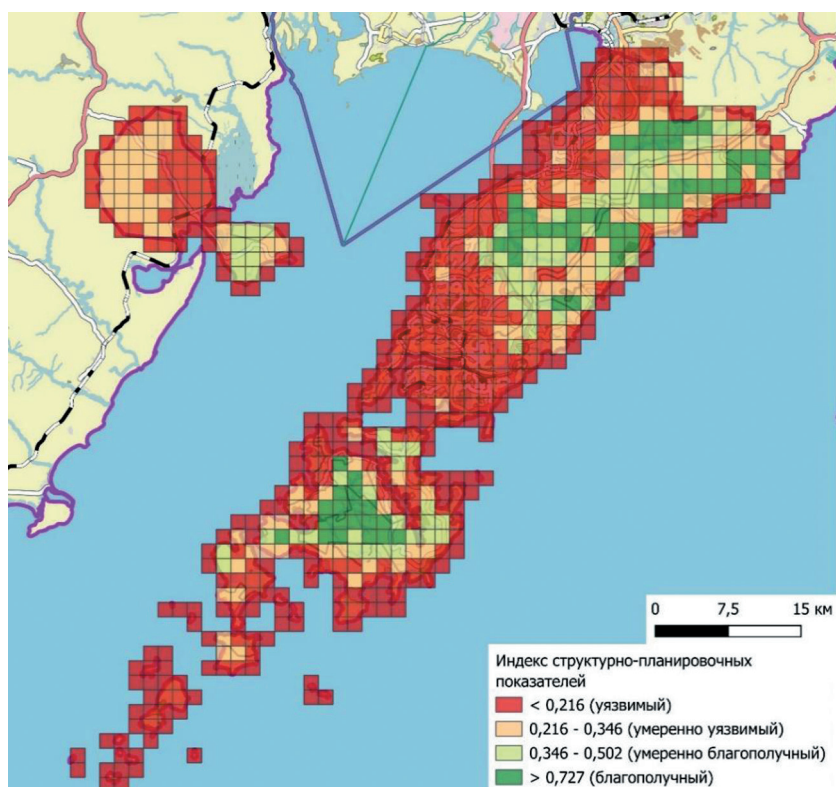


Рис. 2. Категории индекса

Источник: выполнено В.А. Дмитриевым.

Уязвимый класс индекса характеризовался наибольшей долей «изолированных» зеленых территорий, наибольшим числом отдельных зеленых участков, долей туннелированных рек. Также для этого класса характерна наименьшая обеспеченность зелеными зонами. Значение индекса в пределах класса — менее 0,216.

Умеренно уязвимый класс отличается сильной дифференцированностью показателей — встречаемость высоких долей «изолированных» и «ядерных» участков зеленых зон примерно одинакова. Фиксируется рост обеспеченности зелеными зонами, почти отсутствуют туннелированные реки. Значение индекса — от 0,217 до 0,346.

Умеренно благополучный класс характеризуется наличием существенного числа ядерных участков и локальных связей, но при этом дифференцированным показателем обеспеченности озелененными территориями. Туннелированные реки, «изолированные» зеленые зоны в этом классе почти не встречаются. Класс принимает значения индекса от 0,347 до 0,502.

Благополучный класс является лидером по показателям доли площади «ядерных» участков, обеспеченности зелеными зонами, доле озелененных водоохраных зон. В нем отсутствуют туннелированные реки, слабо расчленены зеленые зоны. Он принимает значения выше 0,503.

Пространственное распределение индекса имеет выраженную функциональную и морфологическую обусловленность. Территории с уязвимым классом располагаются по наиболее населенным частям побережий. С точки зрения морфометрической привязки уязвимые территории преимущественно находятся на прибрежных морских равнинах и нижних склоновых поверхностях. Благополучные территории располагаются преимущественно в малонаселенных центральных частях полуострова, о. Русский и о. Попова. С точки зрения рельефной привязки они располагаются на нижних склоновых поверхностях и средних склоновых поверхностях. В табл. 6 приведено сравнение типа рельефа и среднего значения индекса в его пределах.

Таблица 6. Среднее значение индекса по формам рельефа

Форма рельефа	Среднее значение индекса
Прибрежные морские равнины	0,198
Нижние склоновые поверхности	0,321
Средние склоновые поверхности	0,360
Низкогорные вершинные поверхности	0,313

Источник: составлено В.А. Дмитриевым.

Полученные показатели указывают на основной паттерн морфологического развития города — дефицит пространств, благоприятных для строительства, вынуждает использовать большую часть доступных земель. В свою очередь, неудобья, включая склоны и вершинные поверхности, остаются незастроенными.

Анализ различий индекса в контексте привязки к функциональному зонированию территории г.о. Владивосток согласно Генеральному плану⁷ показал отсутствие существенных различий между индексами в пределах общественно-деловых и жилых зон и зон застройки индивидуальными домами. Различия, включая присвоение умеренно уязвимого, наблюдались в пределах садоводческих хозяйств. Наибольшую роль повышения значения индекса в пределах жилых, смешанных и деловых зон играли озелененные склоны, неудобья, кладбища.

Для рекреационных зон и зоны лесов было выявлено различие. Рекреационные зоны приурочены преимущественно к территориям умеренно благоприятным, в то время как лесные зоны — к благоприятным. Данные территории возможно рассматривать как резервы для дальнейшего роста города.

Анализ распределения 1-го квартиля индекса показал, что наименьшие значения индекса концентрируются в пределах центральных районов города — полуострова Шкота, прилегающих частях центра. Также низкие значения фиксировались у побережий, в районе кампуса на о. Русский.

⁷ Документы территориального планирования // Владивосток : официальный сайт администрации. URL: <https://www.vlc.ru/city-environment/gradostroitelstvo-/architecture-vlc/architecture-general-plan/?ysclid=mnofazn9f543358669> (дата обращения: 26.01.2026).

Заключение

Разработанный интегральный индекс структурных показателей города дал количественную оценку устойчивости водно-зеленой инфраструктуры Владивостока и показал ярко выраженную пространственную неоднородность. Доля территорий с низкими значениями индекса составляет 61,1 %, преимущественно в районах плотной застройки и транспортных коридоров.

Сформирован перечень уязвимых участков и резервных территорий для усиления экологического каркаса. Практически данные материалы пригодны для корректировки документов территориального планирования поселения. Разработанный подход воспроизводим в других горных городах при калибровке порогов MSPA и весов CRITIC под местные данные. Ограничения связаны с погрешностями исходных слоев, выбором порогов бинаризации и параметров доступности, их учет позволяет трактовать оценки как консервативные.

Список литературы

- [1] *Borsdorf A., Haller A.* Chapter 9: Urban Montology: mountain cities as transdisciplinary research focus / *The Elgar Companion to Geography, Transdisciplinarity and Sustainability* / ed. by F.O. Sarmiento, L.M. Frolich // *Social and Political Science*. 2020. P. 140–154. <https://doi.org/10.4337/9781786430106.00016>
- [2] *Karagulle D., Frye Ch., Sayre R., Sean P. Breyer, Aniello P., Vaughan R., Wright D.J.* Modeling global Hammond landform regions from 250-m elevation data // *Transactions in GIS*. 2017. Vol. 21. No. 5. P. 1040–1060.
- [3] *Sayre R., Frye Ch., Karagulle D., Krauer J., Breyer S., Aniello P., Wright D.J., Payne D., Adler C., Warner H., Van Sistine D.P., Cress J.* A New High-Resolution Map of World Mountains and an Online Tool for Visualizing and Comparing Characterizations of Global Mountain Distributions // *Mountain Research and Development*. 2018. Vol. 38. No. 3. P. 240–249. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-17-00107.1>
- [4] Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 3 : Зелёная инфраструктура и экосистемные услуги крупнейших городов России / под ред. О.А. Климанова. Москва : Изд-во Центра охраны дикой природы, 2021. 112 с. URL: <https://istina.msu.ru/publications/book/381066686/> (дата обращения: 26.01.2026).
- [5] *Климанова О.А., Колбоевский Е.Ю., Илларионова О.А.* Зелёная инфраструктура города: оценка состояния и проектирование развития. Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2020.
- [6] *Gentili R., Quaglini L.A., Galasso G., Montagnani Ch., Caronni S., Cardarelli E., Citterio S.* Urban refugia sheltering biodiversity across world cities // *Urban Ecosystems*. 2024. 27. P. 219–230. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01432-x>
- [7] Huang H. Fu D., Ding G., Yan C., Xie X., Gao Ya., Liu Q. Construction and optimization of Green Infrastructure Network in mountainous cities: a case study of Fuzhou, China // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Article no. 11936. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57567-0> EDN: FWIJWZ
- [8] *Song S., Wang S., Xu D., Gong Ye.* Elemental evolution characteristics and influencing factors of green infrastructure network in karst mountain cities: a case study of Qianzhong urban agglomeration in Southwest China // *Ecological Processes*. 2024. 13. Article no. 54. <https://doi.org/10.1186/s13717-024-00530-8> EDN: MXVVDG

- [9] Wu X., Zhang J., Geng X., Wang T., Wang K., Liu Sh. Increasing green infrastructure-based ecological resilience in urban systems: a perspective from locating ecological and disturbance sources in a resource-based city // *Sustainable Cities and Society*. 2020. 61. Article no. 102354 <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102354> EDN: MNHLUR
- [10] Illarionova O., Klimanova O., Dmitrieva I. Urban river zones in blue-green infrastructure: assessing functionality and efficiency in Novosibirsk // *Green Infrastructure and Climate Resilience*. Springer Geography. Springer, Cham, 2025. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95796-3_13
- [11] Hamel P., Tan L. Blue-green infrastructure for flood and water quality management in Southeast Asia: evidence and knowledge gaps // *Environmental Management*. 2022. Vol. 69. P. 699–718. <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01467-w> EDN: DRCHMU
- [12] Ncube S., Arthur S. Influence of blue-green and grey infrastructure combinations on natural and human-derived capital in urban drainage planning // *Sustainability*. 2021. Vol. 13. No. 5. Article no. 2571. <https://doi.org/10.3390/su13052571> EDN: EPGFHO
- [13] Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change // *Science*. 2013. Vol. 342. P. 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693> EDN: SOHMPX
- [14] Meerow S., Newell J. Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit // *Landscape and Urban Planning*. 2017. Vol. 159. P. 62–75.
- [15] Колбовский Е.Ю. Пространственный анализ в геоэкологии. Москва : МГУ, 2022. 820 с.
- [16] Zvyagina N., Potytkin D. Ecological urbanism: physiological effects of visual perception of modern architecture of cities // 17th International Multidisciplinary Scientific Geo-conference SGEM 2017. 2017. P. 577–584. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/62> EDN: HDPNTP
- [17] Alinezhad A., Khalili J. CRITIC Method // *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)* // *International Series in Operations Research & Management Science*. Vol. 277. Springer, Cham, 2019. P. 199–203. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15009-9_26

Сведения об авторах:

Кучер Дмитрий Евгеньевич, доцент, кандидат технических наук, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6 ORCID: 0000-0002-7919-3487; eLIBRARY SPIN-код: 5048-2782. E-mail: kucher-de@rudn.ru

Дмитриев Владимир Александрович, аспирант, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0009-0009-9544-8345; eLIBRARY SPIN-код: 8899-1400. E-mail: dmitrieff200@yandex.ru