

---

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

---

УДК 911.37:332.3

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ВЛАДИВОСТОКА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ИНДИКАТОРОВ

© 2022 Е.Е. Гиричева<sup>1,2\*</sup>, В.Н. Бочарников<sup>3\*\*</sup>, Е.В. Фомин<sup>1\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

<sup>3</sup>Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

\*e-mail: evg.giricheva@yandex.ru

\*\*e-mail: vbocharnikov@mail.ru

\*\*\*e-mail: john\_fomin@mail.ru

В работе представлен анализ качества городской среды Владивостока на основе системы индикаторов с использованием модели, предложенной Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) «Воздействие – Состояние – Отклик». Система индикаторов, предложенная ОЭСР как план развития зеленых городов, насчитывает более 100 основных и порядка 50 дополнительных индексов, оценивающих экологическую компоненту городской среды. Авторы предлагают систему, состоящую из 23 агрегированных показателей, учитывающих основные источники вредного воздействия на окружающую среду, состояние атмосферы, морских вод и качество жизни населения, а также реакцию населения и администрации муниципалитета на происходящие изменения. Использование данных дистанционного зондирования позволило определить индексы, характеризующие степень освоенности территории и получить пространственную картину изменения структуры землепользования городского округа. На основе динамики сводных показателей за период с 2011 по 2018 г. рассчитаны интегральные индикаторы, позволяющие оценить текущее состояние городской среды, выявить наиболее проблемные ее компоненты и наметить пути для рационального устройства. Авторы отмечают необходимость учета отрицательных последствий изменения землепользования и нерационального потребления ресурсов в процессе создания Владивостокской агломерации, а также актуальность разработки комплекса мер по обеспечению высокого уровня жизни населения при условии организации эффективной системы сохранения окружающей среды.

*Ключевые слова:* система индикаторов, моделирование, устойчивое развитие, качество городской среды, качество жизни, экологическая экономика.

DOI: 10.5922/1994-5280-2022-4-7

### Введение и постановка проблемы.

Одной из основных проблем, стоящих перед современной экономикой, является неконтролируемый рост городов, которые становятся центрами экономического, политического и социального развития [28]. Растущая степень урбанизации, истощение запасов природных ресурсов и ухудшение качества экосистемных услуг наглядно идентифицируются во многих пространственных проекциях, отображающих все более интенсивное сокращение природных территорий [29]. Любой город предстает неким сверхсложным объектом, наделенным свойствами устой-

чивости и разнообразия, определяющих тот или иной способ формировать, фиксировать, удерживать устойчивые ареалы населения многих развитых стран [28]. В современных условиях главное противоречие состоит в постоянно растущих потребностях людей, стремлении к экономическому изобилию на фоне истощительного использования материальных и энергетических ресурсов, адаптационных ограничений природных возможностей городской среды.

Зеленые города, занимающие одно из центральных мест в парадигме устойчивого развития, являются заметным трендом по-

следних десятилетий, что доказывается широким применением современных технологий дешифрирования данных дистанционного зондирования для их анализа и планирования [32]. В последние десятилетия Владивосток показывает беспрецедентные темпы развития. В 2008 г. проект «Большой Владивосток», направленный на создание Владивостокской агломерации, объединяющей Владивостокский, Уссурийский и Артёмовский городские округа, был включен в генплан Владивостока. Международный статус Владивостока подтвержден форумом АТЭС в 2012 г. и другими престижными международными событиями, образовательной и научно-исследовательской деятельностью Дальневосточного федерального университета, кампус которого построен на острове Русский. В этом фокусе появилась возможность развивать остров Русский, а также территории, расположенные севернее Владивостокского округа (территории опережающего развития), что придает новый статус городу и обеспечивает новые возможности. В результате многих перемен последнего времени изменилась конфигурация, пространственная структура городской и пригородной застройки, сменилась логистика и распределение социально-экологических, производственных, финансовых потоков.

В этой связи при планировании городской агломерации возникает необходимость детального пространственного анализа и количественной оценки происходящих изменений. Также необходимо учитывать, что неконтролируемые темпы строительства и изменение землепользования оказывают заметное негативное воздействие на окружающую среду и приводят к разрушению природных ландшафтов [21]. Для наблюдения за состоянием и динамикой урбанизированных пространств, за обеспечением устойчивого развития городов возрастает необходимость разработки системы специализированных индексов, как современного и эффективного метода диагностики [3] и количественной оценки результатов проводимой политики. Устойчивое развитие означает сбалансированную динамику социальной, экономической и экологической компонент городской системы в предположении экономического роста и его согласованности с потребностями общества

по улучшению качества жизни населения и предотвращения деградации окружающей среды. Для решения этих задач требуется комплексный подход, позволяющий всесторонне оценить текущее состояние, а также выявить проблемные области, что даст основу для принятия эффективных управленческих решений.

Для городской системы Владивостока необходимо было не только оценить ее состояние, но и определить степень негативного влияния на окружающую среду со стороны транспорта, промышленности, строительства, а также измерить эффективность проводимой социально-экономической политики муниципалитета в целях повышения качества городской среды. *Цель данного исследования* состояла в дифференциации территории города по степени освоенности, оценке текущего состояния компонент городской среды, выявлении основных факторов, ухудшающих качество окружающей среды и жизни населения. В рамках исследования решались следующие задачи: на основе данных дистанционного зондирования определить индексы, характеризующие степень освоенности территории г. Владивостока; на основе модели «Воздействие – Состояние – Отклик» разработать систему индикаторов для оценки качества городской среды.

**Обзор ранее выполненных исследований.** Международный банк реконструкции и развития разработал программу развития «зеленых городов», которые сохраняют или улучшают качество окружающей среды (воздух, вода, земля, почва и биоразнообразие), уменьшают риски климатических изменений и адаптируются к ним, гарантируют, что природоохранная политика направлена на улучшение экономического и социального благосостояния граждан. Эта программа построена на основе модели «Воздействие – Состояние – Отклик», предложенной Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) [22]. Модель, представляющая систему индикаторов, устанавливает связи между деятельностью, оказывающей воздействие на окружающую среду, ее состоянием в результате этого воздействия и откликом на сложившуюся ситуацию со стороны администрации города, его жителей и предпринимателей.

<sup>1</sup> URL: <http://www.ebrdgreencities.com/our-cities>

Этот подход был реализован при разработке планов «зеленых городов» для более чем 40 городов<sup>1</sup>. На основе полученных оценок показателей для каждого города определены наиболее проблемные сектора экономики, выявлены экологические проблемы и недостатки городского управления и составлены планы реализации мероприятий по их решению. Кроме оценки степени экологичности городов модель «Воздействие – Состояние – Отклик» широко используется для оценки изменений в землепользовании [35], экологической безопасности [18], влияния городского планирования на окружающую среду [27]. Подобные системы индикаторов, составляющих основу модели «Воздействие – Состояние – Отклик», разработаны для различных административных единиц Китая: от городов до провинций [25].

В России опыт оценки экологической ситуации с помощью интегральных показателей имеет давнюю историю. Одним из наиболее известных подходов к отбору и организации показателей является концепция «Воздействие – Изменение – Последствие», разработанная Л.И. Мухиной и В.С. Преображенским [11] в 1973 г. Основные отличия данной концепции от предложенной ОЭСР состоят в том, что связи между ее группами только прямой направленности (от воздействия к изменению и затем к последствиям), а цель ее использования состоит в выявлении последствий антропогенного воздействия и определении проблем, требующих решения. В то время как в подходе ОЭСР все группы имеют взаимное влияние, в результате его применения возможно выявить не только экологические проблемы, но и проблемы городского развития, а также оценить результаты проводимой политики.

В настоящее время в России проводится большое количество исследований, посвященных проблемам урбанизации и ее последствий. Основные направления связаны с методологическими аспектами устойчивого развития городов [8; 15] и управления качеством окружающей среды [14], а также методологией построения систем комплексных показателей [1; 3] и разработкой рейтингов на основе интегральных индикаторов: индекса человеческого развития [4], индекса устойчивого развития городов [13], индекса экологической напряженности города [2].

Подход к оценке экологической эффективности урбанизированных территорий предложен в работе [7]. Авторы разработали систему индикаторов экологической эффективности крупных городов, на основе которой составлен рейтинг 31 административного центра субъектов Российской Федерации. Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ с 2018 г. формируется индекс качества городской среды<sup>2</sup>. Этот сводный показатель, основанный на 36 показателях состояния городской системы, в настоящий момент охватывает 1117 городов РФ. Также можно выделить два проекта, оценивающих устойчивое развитие российских городов на основе рейтингов, составленных с учетом основных индикаторов качества окружающей среды: проекты от компании «GSM» и Министерства природных ресурсов и экологии РФ<sup>3</sup>.

В последние годы наблюдается рост интереса исследователей к состоянию отдельных компонент городской среды Владивостока; основные направления работ связаны с анализом текущего состояния экономики [12] и землепользования [10], экологическим мониторингом прибрежных экосистем [9], восстановлением естественного гидрологического цикла [5]. Однако на данный момент нет комплексной оценки текущего состояния городской среды, ее пропускной способности и потенциала к росту.

**Материалы и методика исследования**  
**Концептуальная модель «Воздействие – Состояние – Отклик».** В рамках концепции устойчивого развития состояние городской среды определяется качеством окружающей среды и рядом параметров, характеризующих степень благоприятности условий жизни жителей города. Авторами была разработана система индикаторов качества городской среды, в основе которой экономические, экологические и социо-демографические показатели. Оценка текущего состояния городской среды, выявление основных источников негативного влияния, а также возможные сценарии изменения ситуации проводились с использованием модели «Воздействие – Состояние – Отклик» (рис. 1).

<sup>2</sup> URL: <https://индекс-городов.рф/#/>

<sup>3</sup> URL: <http://www.agencysgm.com>, <http://www.mnr.gov.ru>



Рис. 1. Концептуальная модель «Воздействие – Состояние – Отклик»

Источник: составлено авторами.

Составляющие группы «Воздействие» обеспечивают население материальными ценностями, а реакция населения, в свою очередь, меняет степень и направление воздействия. В качестве индикаторов группы «Воздействие» выбраны показатели, оказывающие негативное влияние на окружающую среду и качество жизни горожан. Промышленность, администрация города и население оказывают воздействие, в большей степени негативное, на окружающую среду и меняют ее состояние. Общество, в лице домохозяйств, администрации города и предприятий, реагирует на это изменение посредством политики в области экономики, окружающей среды, демографии, а также изменений в сознании и поведении. Все связи между группами являются двусторонними. Состояние системы, находясь под влиянием компонент группы «Воздействие», в свою очередь, обеспечивает эту группу ресурсами. Состояние меняется в результате действий компонент группы «Отклик», но и определяет их благосостояние.

**Система индикаторов.** Показатели группы «Воздействие» условно распределены на две подгруппы: прямое и косвенное воздействие. Первая подгруппа включает выбросы в атмосферу загрязняющих веществ от транспорта, стационарных источников, в результате сжигания отходов, а также загрязнение сточными водами. Ко второй относятся индикаторы, имеющие положительное влияние на экономику и население (произ-

водство и строительство), но наносящие вред окружающей среде в виде выбросов вредных веществ и превышения норм водозабора. Состояние городской системы описывается показателями, определяющими качество жизни населения и окружающей среды.

Качество жизни оценивалось тремя показателями, характеризующими здоровье населения (прирост населения), экономическим показателем (ВРП) и зеленой инфраструктурой (площадь зеленых территорий). Состояние окружающей среды оценивалось индексами загрязнения атмосферы и морских вод. Модель учитывает реакцию населения и администрации на изменения в состоянии городской среды. Отклик населения представлен тремя показателями: миграция жителей города и изменения в потреблении холодной и горячей воды. Реакция администрации выражается в росте следующих показателей: инвестиции в основной капитал, площадь урбанизированной территории, обеспеченность жильем, уровень городского освещения, затраты на охрану окружающей среды и объем обезвреженных загрязняющих веществ. Подробный перечень индикаторов представлен в таблице 1.

**Краткая экономико-географическая характеристика объекта исследований.** Владивостокский городской округ объединяет территорию, расположенную на полуострове Муравьева-Амурского до посёлка Трудовое включительно, полуостров Песча-

ный и около 50 островов залива Петра Великого. Протяженность округа составляет около 30 км с юга на север и почти 10 км с запада на восток (без полуострова Песчаный). В состав городского округа входят город Владивосток, посёлок Трудовое, остров Русский, остров Попова, остров Рейнеке и село Береговое, расположенное на полуострове Песчаный. Общая площадь округа составляет 55 282 га, в том числе площадь территорий города Владивостока – 33 116 га. Остров Русский, самый крупный из островов, входящих в городской округ, имеет площадь 9 764 га. Площадь остальных островов в общей сложности составляет 2 915 га. Планировочная структура города Владивостока состоит из шести планировочных районов: Курортный, Северный, Центральный, Южный, Западный и Уссурийский, а также поселка Трудовое (рис. 2).

В 2021 г. в Приморском крае было подписано соглашение о создании города-спутника, который на горизонте планирования в десять лет войдёт в общую агломерацию. Проектируемый город располагается на территории опережающего развития «Надеждинская» на площадке «Западная» на земельных участках площадью 925 га.

**Данные и предварительная обработка.** Для всех показателей получены значения за период 2011–2018 гг., выбор которого обусловлен следующими причинами.

Во-первых, основные изменения облика Владивостока, городской инфраструктуры происходили в преддверии саммита АТЭС в 2012 г. и продолжают в настоящее время. Статистические данные по большинству показателей в полной мере представлены до 2018 г. В качестве количественных оценок показателей использованы либо первичные статистические данные, либо рассчитанные на их основе сводные показатели. Информационную базу исследования составили данные Федеральной службы государственной статистики, Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, Ежегодные доклады Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды об экологической ситуации в Приморском крае, а также данные дистанционного зондирования. Значения показателей ВРП на душу населения, инвестиции в основной капитал и затраты на охрану окружающей среды определены в сопоставимых ценах 2011 г.

Выбор данных показателей для модельного описания городской системы обусловлен тем, что они являются индикаторами устойчивого развития, отражающими экономические, социальные и экологические аспекты жизни в городской среде [3]. Увеличение площади урбанизированной территории принимается в модели как показатель улучшения качества жизни населения, так как рост застроенной территории связан с вводом новых объектов дорожной инфраструктуры (мосты,

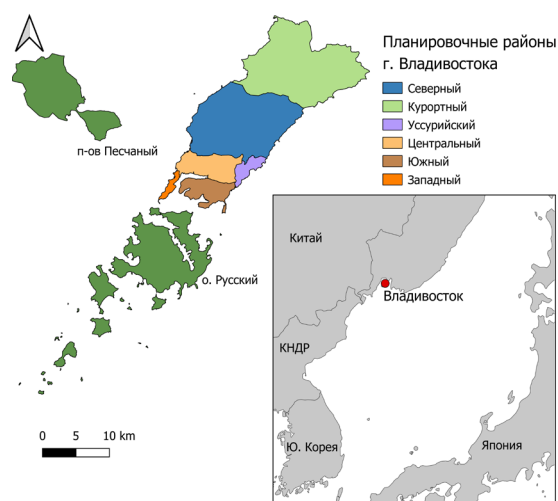


Рис. 2. Регион исследования

Источник: составлено авторами на основе спутникового снимка Владивостокского городского округа и генплана города, утвержденного решением Думы г. Владивостока от 15 сентября 2008 г.



новые дороги, развязки), крупных культурных и туристские объектов (приморская сцена Мариинского театра, океанариум, игорная зона) и др., строительство которых началось в преддверии саммита АТЭС в 2012 г. и продолжается в настоящее время.

Два индикатора определяются на основе снимков дистанционного зондирования. Для этого использовались космические снимки за июль с 2011 по 2018 г. со спутников Landsat 7 и 8 уровня обработки Level-2 с разрешением 30 м на пиксел, находящиеся в свободном доступе на web-портале Геологической службы США EarthExplorer: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Для обработки снимков использовалась ГИС-система QGIS 3.26.0.

Существует несколько нормализованных относительных индексов, которые используются для картирования земной поверхности. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, нормализованный относительный индекс растительности) – количественный показатель фотосинтетически активной биомассы. Один из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова. На основе вегетационного индекса возможно определить территории зеленых насаждений. Нормализованный дифференциальный индекс застроенности, NDBI (Normalized Difference Built-up Index), используется для выделения областей застройки. Во многих исследованиях, связанных с выделением урбанизированных территорий, именно NDBI признается как наиболее точно определяющий застроенные территории [30].

Значения индексов NDVI и NDBI находятся в диапазоне от -1 до 1. В исследованиях урбанизированной территории принята следующая классификация земельных участков в соответствии со значением индекса NDVI [24]: от -1 до 0,2 – пустыри, застроенная территория, дороги, от 0,2 до 0,5 – разреженная растительность, диапазон 0,5–1 определяет густую растительность. В работе по определению зеленой инфраструктуры города [6] получены два класса земельного покрова: поверхности, лишенные растительности (значения NDVI 0,18–0,30), и поверхности, занятые разным типом растительности (минимальные значения NDVI от 0,35 до 0,50 для разных климатических зон). Для NDBI

диапазоны в разных исследованиях немного отличаются. В работе [17] использовалась следующая классификация:  $NDBI < 0$  – вода и растительность,  $0,1 < NDBI < 0,3$  – застроенная территория,  $NDBI > 0,25$  – пустырь. Однако, Nagne et al. [30] в качестве застроенной принимали территорию, для которой  $0 < NDBI \leq 0,15$ . В связи с большим разбросом пороговых значений индексов застроенные территории и лесные массивы были дешифрованы визуально на основе изображения панхроматического канала спутника Канопус-В № 4 с разрешением 2,1 м на пиксел за 25 апреля 2018 г., предоставленного Геопорталом Роскосмоса<sup>4</sup>. По результатам дешифрования были установлены пороговые значения для выделения «зеленых» территорий ( $NDVI \geq 0,3$ ) и застроенных территорий ( $-0,03 \leq NDBI \leq 0,15$ ).

Карта застроенной территории, полученная на основе индекса NDBI, сравнивалась с картами на основе глобального индикатора непроницаемой территории, GAIA (Global Artificial Impervious Area), и данных ночного освещения территории, NTL (Night-Time Light). Индикатор GAIA [23] разделяет территорию на водопроницаемые и водонепроницаемые поверхности. К непроницаемым поверхностям относятся крыши домов, дороги, тротуары, проезды и парковки, которые покрываются непроницаемыми материалами, такими как асфальт, бетон, кирпич, камень. Карты индикатора GAIA строились на основе данных, находящихся в открытом доступе по адресу <http://data.ess.tsinghua.edu.cn/gaia.html>. Данные NTL [19] (открытый доступ по адресу <https://dataverse.harvard.edu/dataset/>), широко используемые при составлении карт городов от глобального до локального масштабов, дают нам пространственную оценку деятельности человека.

**Расчет индикаторов системы.** Для комплексной оценки системы по представленным показателям необходимо сравнить отклонения значений индексов от их оптимальных значений, а также рассчитать интегральные показатели по каждому критерию, группе и в целом по системе. В качестве оптимальных значений приняты максимальные значения показателей за весь период, если максимальное значение показывает наилучший результат, и минимальные значения,

<sup>4</sup> URL: <https://gptl.ru/>

если они оптимальны для данного показателя. Исключение составляет показатель ИЗА, для него наилучшее значение равно 1, а наихудшее – 0. Представленная система индексов включает антропогенные, социальные, экономические, экологические и административные показатели, поэтому для их сопоставления необходимо устранить отличия в размерностях путем стандартизации, в результате которой значения показателей будут находиться в диапазоне от 0 до 1.

Для прямых индикаторов (максимальное значение показывает наилучший результат) значение показателя нормируется по формуле

$$y_{ii} = \frac{x_{ii} - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

Здесь  $x_{ii}$  – значение показателя  $i$  в год  $t$ . Для обратных индикаторов (минимальное значение показывает наилучший результат) нормированное значение показателя  $i$  получается

$$y_{ii} = \frac{x_{max} - x_{ii}}{x_{max} - x_{min}} \quad (2)$$

В качестве  $x_{max}$  и  $x_{min}$  использовались максимальные и минимальные значения показателей за весь период исследования. На основе серого реляционного анализа [20] вычислялся серый реляционный коэффициент  $\gamma_{it}$ , определяющий близость фактических значений показателей  $y_{ii}$  и их оптимальных значений  $y_{oi}$  (для нашей модели все оптимальные значения равны 1):

$$\gamma_{ii} = \frac{\min_t \min_i |y_{oi} - y_{ii}| + \rho \max_t \max_i |y_{oi} - y_{ii}|}{|y_{oi} - y_{ii}| + \rho \max_t \max_i |y_{oi} - y_{ii}|} \quad (3)$$

где  $0 \leq \rho \leq 1$  – коэффициент отличия, обычно применяется значение 0,5. Тогда интегральные индикаторы группы в каждый период времени  $t$  можно определить по формуле

$$I_t = \sum_{i=1}^n w_i \gamma_{ii} \quad (4)$$

Здесь  $n$  – количество показателей, входящих в группу,  $w_i$  – вес показателя в суммарной оценке. Веса индикаторов определялись на основе их энтропии. Метод энтропии для определения весов индикаторов широко используется в анализе экологической устойчивости [31; 34]. Энтропия определяет меру разброса значений показателя

в течении рассматриваемого периода. Чем выше амплитуда колебаний, тем более неустойчив данный индекс. Поэтому чем ниже энтропия, тем больший вес имеет данный показатель при определении интегральных индексов. Энтропия показателя  $i$  определяется по формуле:

$$e_i = \frac{-1}{\ln T} \sum_{t=2011}^{2018} \left( \frac{\gamma_{ii}}{\sum_{t=2011}^{2018} \gamma_{ii}} \right) \ln \left( \frac{\gamma_{ii}}{\sum_{t=2011}^{2018} \gamma_{ii}} \right) \quad (5)$$

Здесь  $T=8$  – количество лет рассматриваемого периода. Тогда вес каждого показателя определяется по формуле

$$w_i = \frac{1 - e_i}{\sum_{i=1}^n (1 - e_i)} \quad (6)$$

Интегральный показатель всей системы рассчитывался по формуле

$$I = w_1 I_B + w_2 I_C + w_3 I_O \quad (7)$$

Здесь  $I_B, I_C, I_O$  – сводные показатели групп «Воздействие», «Состояние», «Отклик», их значения найдены по формуле (4). Предполагался равный вклад каждой группы:  $w_1 = w_2 = w_3 = 1/3$ .

Для интерпретации относительных значений индикаторов авторами предложена следующая шкала, оценивающая степень вклада данного индикатора в улучшение качества городской среды:  $0 \leq I < 0,2$  – отсутствие роста качества,  $0,2 \leq I < 0,4$  – очень слабый рост,  $0,4 \leq I < 0,6$  – слабый рост,  $0,6 \leq I < 0,8$  – качество преимущественно растет,  $0,8 \leq I \leq 1$  – устойчивый рост.

### Результаты и их обсуждение

**Зеленые пространства и застроенные территории в административных границах Владивостока.** На основе данных дистанционного зондирования за июль 2018 г. построены карты индексов растительности NDVI и застроенной территории NDBI (рис. 3).

В 2008 г. было принято решение о проведении форума АТЭС в 2012 г. в Владивостоке. С этого момента на территории городского округа началось глобальное строительство новых объектов, включая основную площадку проведения форума, которая впоследствии стала территорией кампуса ДВФУ. На карте NDVI территория зеленого цвета

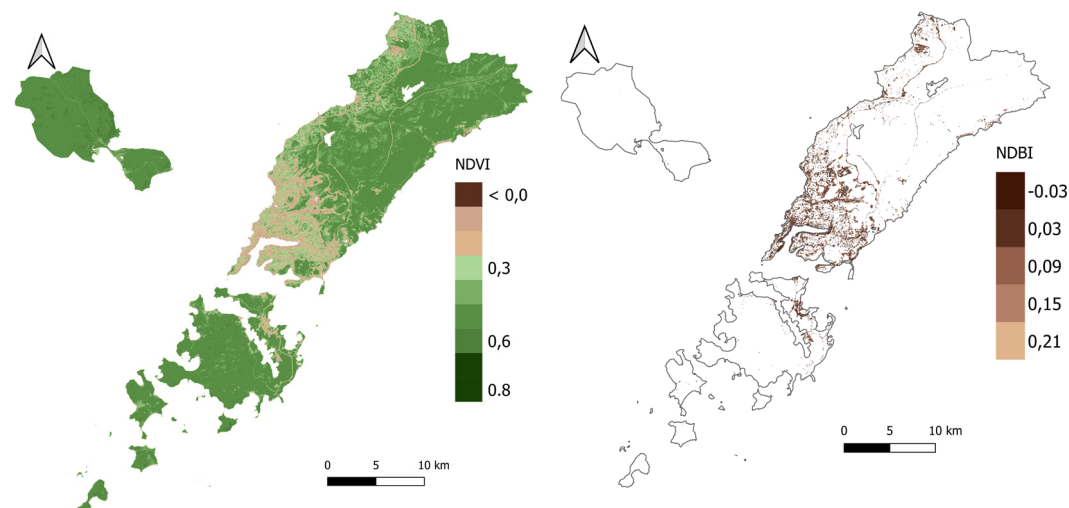


Рис. 3. Карты распределения NDVI и NDBI за 30 июля 2018 г.

Источник: составлено авторами на основе данных дистанционного зондирования.

соответствует территории лесов, парков, других зеленых насаждений. Основная их часть находится на острове Русский, полуострове Песчаный и в южной части Владивостока, которую занимают районы «Курортный», «Уссурийский»; небольшие зеленые области расположены в районах «Северный» и «Центральный». Самые высокие значения индекса соответствуют лесам (0,5–0,7), менее интенсивный зеленый цвет определяет зеленые насаждения в пределах или вблизи застроенной территории.

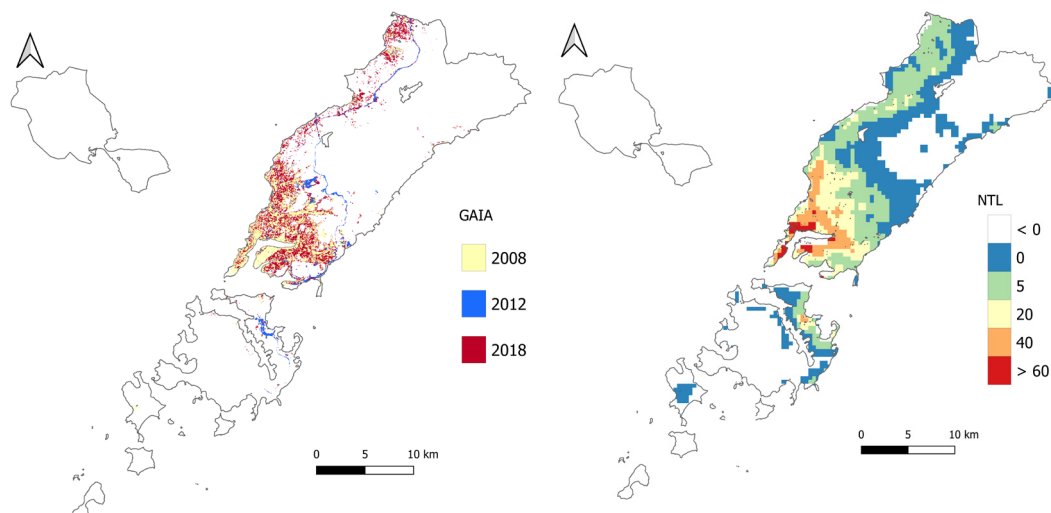
На карте NDBI вся закрашенная территория соответствует застроенной территории (коричневый цвет) и пустырям (желтый цвет). Основная застройка – в Южном и Западном районах, части Северного, Центрального и Уссурийского планировочных районах. На о. Русский большую часть застроенной территории занимает кампус ДВФУ. На левой панели рисунка 4 представлено изменение площади непроницаемой территории с 1985 по 2018 г. На рисунке выделены следующие этапы: 1995–2008, 2009–2012 гг. (основная застройка территории), 2013–2018 гг. Видно, что в последний период произошел резкий скачок значений GAIA. Правая панель рисунка 4 демонстрирует данные NTL за 2018 г., дифференцирующие территории по степени освещенности.

Из рисунков 3 и 4 видно, что распределение урбанизированной территории,

определяемое разными индикаторами, имеет схожую картину. Однако, площадь этой территории, определяемая индексами NDBI и GAIA, отличается. Возможно, в 2015 г. большая площадь территории городского округа стала непроницаемой. К этой категории относятся не только крыши зданий, но и дороги с покрытием, затвердевший грунт и другие поверхности, не пропускающие воду. Различия происходят от того, что данные GAIA рассчитывались на основе NDVI и других вегетационных индексов, а также данных NTL для всей планеты. Рисунок 5 демонстрирует изменения доли непроницаемой территории (GAIA) и застроенной территории (NDBI) к территории городского округа в процентах. Основным приростом урбанизированной территории, в соответствии со значением индикатора GAIA, произошёл в 2015 г. и затронул территории Южного, Центрального, а также западной части Северного и Курортного планировочных районов Владивостока.

В наших расчетах индекса NDBI было установлено пороговое значение индекса для застроенной территории. Поэтому в дальнейшем описании в качестве застроенной мы принимаем территорию, определяемую значением  $-0,03 \leq NDBI \leq 0,15$ . Изменения соотношения зеленой и застроенной территорий демонстрирует рис. 6. Расчеты показали, что площадь зеленой территории убывает





**Рис. 4.** Карты распределения GAIA по состоянию на 2008, 2012 и 2018 гг. NTL по состоянию на 2018 г.

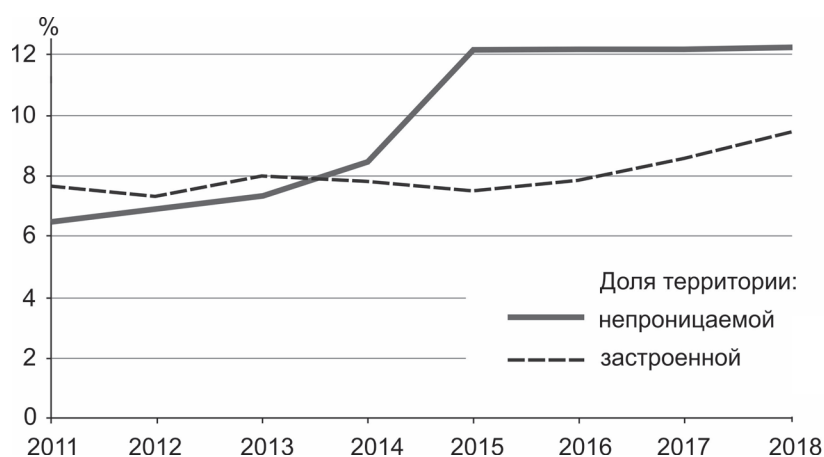
Источник: составлено авторами на основе данных, находящихся в открытом доступе по адресам: <http://data.ess.tsinghua.edu.cn/gaia.html> и <https://dataverse.harvard.edu/dataset>.

быстрее, чем растет площадь застроенной территории, что свидетельствует об увеличении земель, занятых пустырями.

**Оценка качества городской среды.** Для оценки городской среды определялись значения интегральных индексов по каждому критерию и группам, а также индикатор, оценивающий всю систему. В таблице 1 представлены веса показателей, определенных по формуле (6), а также отклонения стандартизованных значений показателей

от оптимальных и значения интегральных индикаторов по каждому критерию и группе в целом в 2018 г.

Для группы «Воздействие» максимальные значения индексов, а значит и наименьшее негативное влияние, имеют категории «Производство тепловой энергии» и «Выбросы от стационарных источников», наибольшее негативное влияние – «Производство электроэнергии», «Забор воды» и «Переработка мусора». Значение показателя



**Рис. 5.** Доля непроницаемой и застроенной территории, %

Источник: составлено авторами.

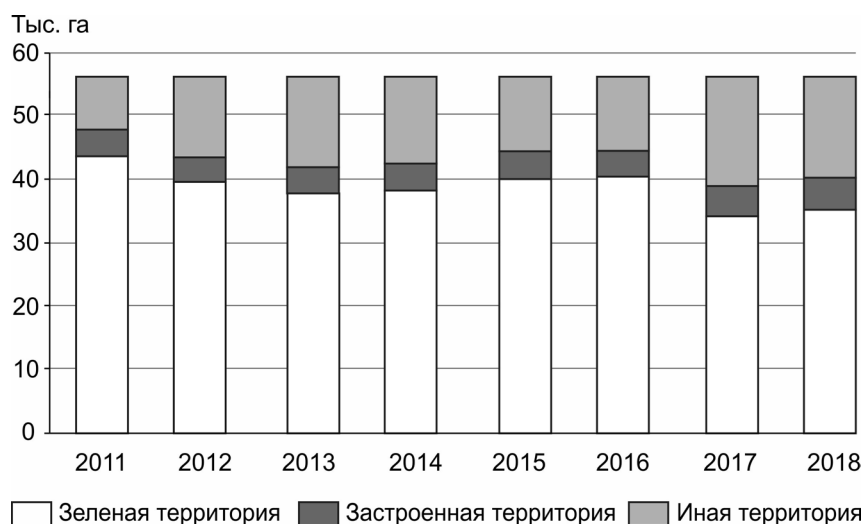


Рис. 6. Структура территории городского округа, га  
Источник: составлено авторами.

по всему критерию «Воздействие», равное 0,487, говорит о достаточно сильном негативном влиянии промышленности и населения на городскую систему. Динамика показателей, объединенных критерием «Прямое воздействие» более неоднородна, чем показателей критерия «Косвенное воздействие», что привело к дифференциации весов показателей первой группы. Значение интегрального показателя первого критерия ниже индикатора второго критерия (0,42 против 0,53), что говорит о меньшем, но все-таки достаточно сильном, отрицательном влиянии показателей «Косвенного воздействия» на систему. В группе «Состояние» только индекс ВРП на душу населения имеет высокое значение, по остальным критериям состояние системы можно оценить как неудовлетворительное. Наименьшее значение – у показателей, оценивающих площадь зеленых территорий и естественную убыль населения (этот показатель растет с 2017 г.).

В целом по группе «Состояние» (значение индикатора 0,565) ситуация сложилась немного лучше, чем по группе «Воздействие» в основном за счет показателей критерия «Качество жизни», чей интегральный индикатор превышает значение индикатора критерия «Состояние окружающей среды» (0,624 против 0,428). В группе «Отклик» показатели по критериям «Реакция населе-

ния» и «Улучшение качества окружающей среды» имеют высокие значения, что обеспечило и высокие значения индикаторов критериев (0,848 и 0,820, соответственно). Значение показателя «Миграция населения», равное 0,787, обеспечивается за счет внутрирегиональной миграции, что говорит о росте темпов урбанизации. Межрегиональная миграция в течении всего периода отрицательная.

Динамика интегральных показателей, оценивающих группы «Воздействие», «Состояние», «Отклик» и систему в целом,  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_O$  и  $I$ , представлены на рисунке 7. Индикаторы групп «Состояние» и «Воздействие» колеблются в течении всего периода. Только в 2018 г., после длительного падения, индикатор состояния городской среды начал расти. В большей степени этот рост обеспечило увеличение ВРП на душу населения, по остальным показателям, включая степень загрязнения атмосферы и морских вод, убыль населения, ситуация остается неудовлетворительной. Убывает и площадь зеленых территорий, но Владивосток, благодаря большим территориям, занятым лесными массивами в пригороде и на о. Русский, остается одним из самых зеленых городов России по доле зеленых насаждений в общей площади городской территории (72%). Отрицательная динамика индикатора группы «Воздействие» свидетельствует

Таблица 1. Система индексов для оценки состояния Владивостока на основе модели «Воздействие – Состояние – Отклик»

Критерий	Показатель	Веса показателей для индикатора критерия/ группы	Отклонения стандартизованных значений показателей от оптимальных и значения индикаторов в 2018 г.
<b>Воздействие</b>			
Прямое воздействие	Выбросы от автомобильного транспорта	0,4/0,16	0,345
	Выбросы от стационарных источников	0,15/0,06	0,856
	Доля твердых отходов, вывезенных для переработки на мусоросжигающий завод	0,2/0,08	0,333
	Сброс сточных вод	0,25/0,11	0,366
<b>Индикатор критерия</b>			<b>0,422</b>
Косвенное воздействие	Производство электроэнергии	0,2/0,12	0,333
	Производство тепловой энергии	0,19/0,11	1
	Производство бетона и железобетонных конструкций	0,18/0,11	0,582
	Строительство жилых и индивидуальных домов	0,21/0,12	0,460
	Забор воды из природных водных объектов	0,22/0,13	0,345
<b>Индикатор критерия</b>			<b>0,531</b>
<b>Индикатор группы «Воздействие»</b>			<b>0,487</b>
<b>Состояние</b>			
Качество жизни населения	Естественный прирост/убыль населения	0,31/0,22	0,333
	ВРП на душу населения	0,43/0,30	1
	Площадь зеленых территорий	0,26/0,18	0,357
<b>Индикатор критерия</b>			<b>0,624</b>
Состояние окружающей среды	ИЗА – индекс загрязнения атмосферы	0,15/0,04	0,431
	ИЗВ – индекс загрязнения морских вод	0,85/0,26	0,427
<b>Индикатор критерия</b>			<b>0,428</b>
<b>Индикатор группы «Состояние»</b>			<b>0,565</b>
<b>Отклик</b>			
Реакция населения	Миграция населения	0,26/0,08	0,787
	Потребление горячей воды	0,34/0,11	0,711
	Потребление холодной воды	0,4/0,13	1
<b>Индикатор критерия</b>			<b>0,848</b>
Улучшение качества жизни	Инвестиции в основной капитал	0,32/0,15	0,354
	Площадь застроенной территории	0,26/0,14	1

Таблица 1. Окончание

Критерий	Показатель	Веса показателей для индикатора критерия/ группы	Отклонения стандартизованных значений показателей от оптимальных и значения индикаторов в 2018 г.
	Протяженность освещенных частей улиц	0,21/0,10	0,503
	Обеспеченность жильем	0,21/0,10	1
<b>Индикатор критерия</b>			<b>0,699</b>
Улучшение качества окружающей среды	Затраты на охрану окружающей среды	0,42/0,08	0,575
	Рост объема обезвреженных загрязняющих веществ	0,58/0,11	1
<b>Индикатор критерия</b>			<b>0,820</b>
<b>Индикатор группы «Отклик»</b>			<b>0,770</b>
<b>Индикатор системы</b>			<b>0,608</b>

Источник: составлено авторами с использованием материалов Росстата (URL: <https://www.fedstat.ru/>), Приморскстата (URL: <https://primstat.gks.ru/>), Ежегодных докладов Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды об экологической ситуации в Приморском крае (URL: <https://www.mnr.gov.ru/docs/>), Ежегодного статистического сборника Владивосток в цифрах. 2012–2019 гг.

об увеличении вредного влияния на городскую среду в виде выбросов вредных веществ, водопользования и водоотведения. Именно показатели этой группы не позволяют добиться устойчивого роста качества городской среды.

Стабильно положительную динамику демонстрирует индикатор группы «Отклик»,

что говорит о возрастающей положительной реакции на изменения состояния городской среды со стороны населения и администрации. Среди показателей критерия «Улучшение качества жизни» (значение индикатора 0,699) показатели «Обеспеченность жильем» и «Площадь застроенной территории» имеют максимальные значения,

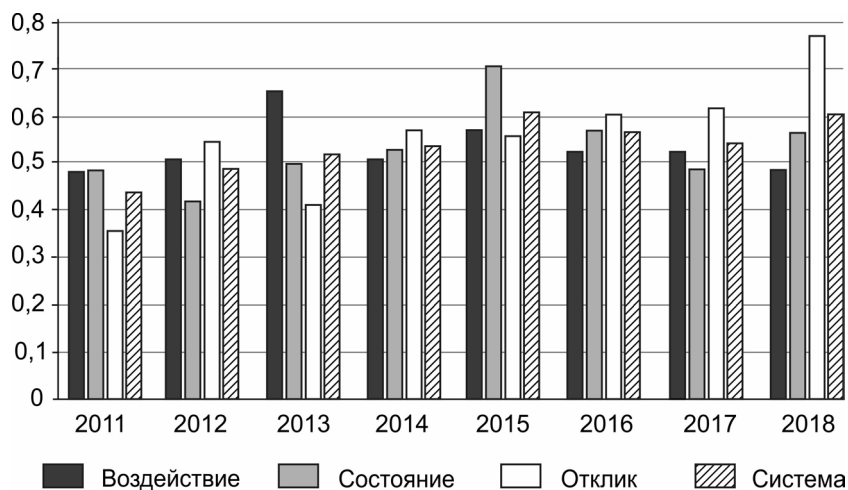


Рис. 7. Динамика интегральных показателей групп «Воздействие», «Состояние», «Отклик» и системы

Источник: составлено авторами.

равные 1, что говорит об их положительной динамике. Наименьшее значение в этой группе имеет показатель, оценивающий инвестиции в основной капитал (0,354), что свидетельствует о его отрицательной динамике. В целом по группе «Отклик» (значение индикатора 0,770) ситуация лучше, чем по другим группам. Однако значения некоторых индексов не сравниваются с аналогичными для других городов. Среди таких показателей «Обеспеченность жильем». Для Владивостока этот индикатор демонстрирует положительную динамику, что и обеспечивает высокое значение. В сравнении со столицами других федеральных округов Владивосток занимает предпоследнее место, а значение показателя в 2018 г., 22,3 м<sup>2</sup> на человека, ниже среднего по Российской Федерации. Индикатор всей системы, учитывающий равный вес каждой группы, в 2018 г. имеет значение 0,608. Согласно введенной шкале, это говорит о том, что качество городской среды растет, однако не очень быстрыми темпами.

**Выводы.** В работе предложена система индикаторов, построенная на основе модели «Воздействие – Состояние – Отклик», которая позволяет получить оценку текущего состояния городской среды Владивостока, выявить наиболее проблемные места и наметить пути для рационального устройства. Модель реализована на 23 показателях городской среды, условно разделенных на три категории, определяющих состояние системы, негативное воздействие на нее со стороны населения, экономики, промышленности, а также реакцию населения, администрации города и предприятий на изменившееся в результате воздействия состояние. В работе проведен анализ показателей качества городской среды, характеризующих основные формы антропогенного воздействия с учетом их веса в суммарной оценке функциональной категории, в которую они входят. Полученные значения интегральных индикаторов обеспечивают знание и позволяют выявить принципиальные тренды изменений каждой категории.

В настоящее время города потребляют громадное количество ресурсов и генерируют тонны отходов. В этой связи уместен вопрос об оценке пропускной способности городской системы, возможности ее

роста в существующих геоэкологических и социально-экономических условиях. Анализ модели показал, что в целом качество городской среды растет, однако недостаточно быстро.

В нашем исследовании мы оценили показатель «Площадь урбанизированной территории» как положительный, так как строительство жилых домов, объектов коммунальной, транспортной и социальной инфраструктуры является неотъемлемой частью повышения качества жизни. Анализ модели выявил уменьшение доли зеленых территорий в городской структуре. Однако в рамках проекта «Большой Владивосток» планируется не только объединение существующих поселений в одну агломерацию, но и расширение застроенной территории, а также строительство новых населенных пунктов на землях, которые в настоящий момент относятся к зоне рекреационного назначения. При этом новых зеленых насаждений практически не появляется; восстановление имеющихся парков и скверов, находящихся в ненадлежащем состоянии, идет недостаточно быстрыми темпами. Еще один отрицательный момент строительства новых объектов состоит в негативном воздействии на окружающую среду в виде выбросов загрязняющих веществ, твердых отходов, использования большого количества воды, а также ее стока.

Проведенный анализ показал, что именно показателям группы «Воздействие» требуется уделить особое внимание уже сейчас, даже без учета новых источников, которые появятся в ходе реализации проекта создания городской агломерации. Увеличить показатель этой группы, а значит и уменьшить негативное влияние на качество городской среды и комфортность проживания, возможно, если развивать экономику в соответствии с принципами экологической рациональности [33]. Это означает развитие циркулярной экономики, включающей сокращение потребления ресурсов и объема отходов, их повторное использование и переработку [26]; разработку инновационных технологий с высокой эффективностью и низким использованием ресурсов и энергии.

В заключении можно отметить, что для более детальной оценки необходим анализ в рамках метаболического подхода к функционированию городской системы. Очевидно,



что планирование городской среды с учетом экологической рациональности призвано не только сократить вредное воздействие на окружающую среду, но и привести к гармоничному сосуществованию человека и природы в урбанизированном пространстве.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках работы по теме гранта Российского

научного фонда № 22-17-00186 «Потенциал приморских поселений для долгосрочного устойчивого развития: содержание и методы оценки на примере Тихоокеанской России». Обработка и анализ спутниковых данных выполнены при финансовой поддержке ДВФУ, Программа стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» Центра цифрового развития.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белкина Т.Д. Диагностика городского развития с помощью системы индикаторов // Проблемы прогнозирования. 2007. № 2. С. 77–89.
2. Битюкова В.Р. Интегральная оценка экологической ситуации городов России // Региональные исследования. 2014. № 4 (46). С. 49–57.
3. Бобылев С.Н., Кудрявцева О.В., Соловьева С.В. Индикаторы устойчивого развития для городов // Экономика региона. 2014. № 3. С. 101–110.
4. Доклад о развитии человеческого потенциала в Российской Федерации за 2013 год. Устойчивое развитие: вызовы Рио / под общ. ред. С.Н. Бобылева. М.: ПРООН, 2013. 202 с.
5. Казанцев П.А., Марус Я.В., Смеловская А.М. Особенности формирования устойчивой городской среды в условиях реновации водной системы Владивостока // Урбанистика. 2019. № 1. С. 18–32.
6. Климанова О.А., Колбовский Е.Ю., Илларионова О.А. Зеленая инфраструктура города: оценка состояния и проектирование развития. М.: Тов-во научн. изд. КМК, 2020. 324 с.
7. Коротков П.А., Трубянов А.Б. Оценка экологической эффективности крупных городов в условиях быстрой урбанизации // Научный журнал КубГАУ. 2014. № 102. С. 1072–1098.
8. Кочуров Б.И., Ивашкина И.В., Фомина Н.В., Лобковская Л.Г. Принципы и приемы развития современного города как сложной урбоэкосоциосистемы // Экология урбанизированных территорий. 2018. № 3. С. 83–89.
9. Огородникова А.А., Щеглов В.В., Вейдеман Е.Л. Модель «воздействие – состояние – отклик» в решении задач экологического мониторинга загрязнения прибрежных экосистем // Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). 2004. Т. 137. С. 321–336.
10. Осипов Е.С., Михайлов Б.С. Анализ функционального зонирования и структуры распределения земель Владивостокского городского округа // Междунар. журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2020. № 4. С. 25–35.
11. Преображенский В.С., Мухина Л.И. Современные ландшафты как природно-антропогенные системы // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1984. № 1. С. 19–27.
12. Приступ Н.П. Экономика города Владивостока: анализ и оценка текущего состояния // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 8-5. С. 942–946.
13. Рейтинг устойчивого развития городов России [Электронный ресурс]. URL: <https://agency.sgm.com/projects/Брошюра2020.pdf>. (дата обращения: 03.11.2022).
14. Сокольская Е.В., Кочуров Б.И. Геоэкология города: модели качества среды. М.: Инфра-М., 2021. 185 с.
15. Устойчивое развитие городов: коллективная монография / под ред. К.В. Папенова, С.М. Никонорова, К.С. Ситкиной. М.: Экон. ф-т МГУ, 2019. 288 с.
16. Chen P., Shi X. Dynamic evaluation of China's ecological civilization construction based on target correlation degree and coupling coordination degree // Environmental Impact Assessment Review. 2022. № 93. P. 106734.
17. Chen X., Zhao H., Li P., Yin Z. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes // Remote Sensing of Environment. 2006. № 104. P. 133–146.
18. Chen Y.Q., Zhao L.M. Exploring the relation between the industrial structure and the eco-environment based on an integrated approach: a case study of Beijing, China // Ecol. Indic. 2029. № 103. P. 83–93. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.04.001.
19. Chen Z. et al. An extended time series (2000–2018) of global NPP-VIIRS-like nighttime light data from a cross-sensor calibration // Earth Syst. Sci. Data. 2021. № 13. P. 889–906. DOI: 10.5194/essd-13-889-2021.
20. Deng J.L. Introduction to grey system theory // The Journal of Grey System. 1989. № 1. P. 1–24.
21. Donati G.F., Bolliger J., Psomas A., Maurer M., Bach P.M. Reconciling cities with nature: Identifying local Blue-Green Infrastructure interventions for regional biodiversity enhancement // Journal of Environmental Management. 2022. № 316. P. 115254. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.115254.
22. Green Growth in Cities, OECD Green Growth Studies. OECD Publishing, 2013. DOI: 10.1787/9789264195325-en.

23. *Gong P. et al.* Annual Maps of Global Artificial 478 Impervious Area (GAIA) between 1985 and 2018 // *Remote Sens. Environ.* 2020. N 236. P. 111510. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111510.
24. *Hashim H., Abd Latif Z., Adnan N.A.* Urban vegetation classification with NDVI threshold value method with very high resolution (VHR) Pleiades imagery. *The International Archives of Photogrammetry // Remote Sensing and Spatial Information Sciences.* 2019. № 42. P. 237–240.
25. *Jiang L., Bai L., Wu Y.M.* Analysis on the coordination of provincial economy, resources and environment in China // *J. Nat. Resour. Policy Res.* 2017. № 32 (5). P. 788–799. DOI: 10.11849/zrzyxb.20160512.
26. *Liu K.B., Wang X., Li H.B., Li Y.H.* Theoretical Framework of Urban Eco-Civilization Construction. In *Advanced Materials Research (Vols. 616–618, pp. 1234–1237).* Trans Tech Publications, Ltd, 2012. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.616-618.1234.
27. *Liu L. et al.* Comprehensive eco-environmental impact assessment of urban planning based on pressure-state-response model // *Applied Ecology and Environmental Research.* 2019. № 17 (6). P. 14455–14463.
28. *Liu Y.S.* Research on the urban-rural integration and rural revitalization in the new era in China // *Acta Geographica Sinica.* 2018. № 73 (4). P. 637–650.
29. *McDonald R.I., Marcotullio P.J., Güneralp B.* Urbanization and global trends in biodiversity and ecosystem services // *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities.* Springer, Dordrecht, 2013. P. 31–52.
30. *Nagne A.D. et al.* Automatic extraction of built-up area from EO-1 hyperion hyperspectral satellite image based on NDBI Index // *IJREAM International Journal for Research in Engineering Application & Management, Special Issue.* 2018. P. 7–80.
31. *Sahoo M.M., Patra K.C., Swain J.B., Khatua K.K.* Evaluation of water quality with application of Bayes' rule and entropy weight method // *Eur. J. Environ. Civ. En.* 2017. № 21. P. 730–752.
32. *Xu F., Yan J., Heremans S., Somers B.* Pan-European urban green space dynamics: A view from space between 1990 and 2015 // *Landscape and Urban Planning.* 2022. № 226. P. 104477. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2022.104477.
33. *Yu X.* Problems and Countermeasures of Urban Ecological Civilization Construction in China // *Low Carbon Economy.* 2019. № 10. P. 1–10. DOI: 10.4236/lce.2019.101001.
34. *Zhang Y., Zhou D., Li Z., Qi L.* Spatial and temporal dynamics of social-ecological resilience in Nepal from 2000 to 2015 // *Phys. Chem. Earth Parts A/B/C.* 2020. № 120. P. 102894.
35. *Zhou B.Z., Yang H., Bao H.S.* PSR model and its application in the evaluation of sustainable land use in the region // *Journal of Natural Resources.* 2002. № 17 (5), P. 541–548.

Статья поступила в редакцию 23 сентября 2022 г.

#### Сведения об авторах

*Гиричева Евгения Евгеньевна* – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории математического моделирования биофизических процессов Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН; доцент Института математики и компьютерных технологий Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток.

*Бочарников Владимир Николаевич* – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии и охраны животных Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Владивосток.

*Фомин Евгений Витальевич* – ведущий инженер-программист лаборатории спутникового мониторинга Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток.

#### Для цитирования:

*Гиричева Е.Е., Бочарников В.Н., Фомин К.В.* Оценка качества городской среды Владивостока на основе системы индикаторов // *Региональные исследования.* 2022. № 4. С. 76–91.

DOI: 10.5922/1994-5280-2022-4-7

## Assessment of Vladivostok urban environment quality using collection of indicators

**E.E. Giricheva**<sup>1,2\*</sup>, **V.N. Bocharnikov**<sup>3\*\*</sup>, **E.V. Fomin**<sup>1\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Automation and Control Processes, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Science, Vladivostok, Russia*

<sup>2</sup>*Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia*

<sup>3</sup>*Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Science, Vladivostok, Russia*

\**e-mail: evg.giricheva@yandex.ru*

\*\**e-mail: vbocharnikov@mail.ru*

\*\*\**e-mail: john\_fomin@mail.ru*

The paper presents an analysis of the quality of the urban environment of Vladivostok based on a system of indicators using the OECD model „Impact – State – Response“. The system of indicators proposed by the OECD as a plan for the development of green cities includes more than 100 main and about 50 additional indices that assess the environmental component of the urban environment. The authors propose a set of 23 aggregated indicators that consider the main sources of harmful effects on the environment, air and sea conditions, and the living standards, as well as the reaction of the population and the municipal administration to ongoing changes. The use of remote sensing data made it possible to determine the indices characterizing the degree of the territory development and to obtain a spatial pattern of land use changes in the urban district. Based on the dynamics of aggregated indicators for the period from 2011 to 2018 integral indicators are calculated to assess the current state of the urban environment, identify its most problematic components and outline ways for a rational arrangement. The authors note the need to consider the negative consequences of land use change and irrational resource use under the formation of the Vladivostok agglomeration, as well as to develop a strategy to improve the living standards of the population while keeping the environment safe.

*Keywords:* system of indicators, modeling, sustainable development, quality of the urban environment, life quality, ecological economics.

Received 23.09.2022