

УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

LIFE CYCLE MANAGEMENT OF CONSTRUCTION FACILITIES



УДК 69.001.5

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-2-85-95>

Пути устойчивого развития для городской эко-архитектуры

Чжан Хаожань¹ , С.Г. Шеина² , В.В. Белаш²

¹Шаньдунский транспортный университет, г. Цзинань, провинция Шаньдун, Китайская народная республика

²Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

ybelash@donstu.ru



EDN: GCHTJX

Аннотация

Введение. В последнее время вопросы экологического развития стали особенно актуальны, поэтому важность эко-архитектуры выходит на первый план. Используя концепции устойчивого проектирования и экологичные материалы, эко-архитектура снижает зависимость от природных ресурсов, уменьшает потребление энергии и выбросы отходов, тем самым эффективно снижая нагрузку на окружающую среду. В связи с этим эко-архитектура является не только важным направлением устойчивого развития городов, но и предоставляет нам практический путь к созданию более гармоничной и качественной среды обитания. Целью данного исследования является определение принципов эко-архитектуры и оценка его влияния на устойчивое развитие городской среды. Проанализировано влияние эко-архитектуры на весь цикл строительства зданий и сооружений с момента строительства и до сноса здания, и определены пути устойчивого развития городской архитектуры.

Материалы и методы. Проведен анализ путей устойчивого развития эко-архитектуры в современном мире. В процессе строительства и эксплуатации зданий возникают различные негативные влияния, такие как загрязнение воздуха и воды, шум, нарушение ландшафта и экосистемы. Для минимизации этих воздействий необходимо разрабатывать природозащитные мероприятия и учитывать экологические аспекты на всех этапах проектирования и строительства.

Результаты исследования. В ходе исследования выполнена оценка устойчивости развития эко-архитектуры на основе анализа жизненного цикла здания с учетом воздействия на окружающую среду на этапах проектирования, строительства, использования и сноса объекта строительства

Обсуждение и заключение. Оценка устойчивости развития эко-архитектуры основывается на анализе жизненного цикла здания, учитывая воздействие на окружающую среду на всех этапах: от проектирования и строительства до использования и сноса. Всесторонний анализ потребления ресурсов и экологической нагрузки здания на разных этапах позволит получить более точную оценку устойчивости. С развитием цифровых технологий применение интеллектуальных зданий и Интернета вещей (IoT) сделает возможным мониторинг и анализ данных в режиме реального времени. Это позволит улучшить управление устойчивостью развития зданий на этапе эксплуатации, обеспечив поддержку данных для оптимизации эффективности использования ресурсов.

Ключевые слова: эко-архитектура, устойчивое развитие, экологическая энергоэффективность, низкое содержание углерода, переработка ресурсов, экологичность, жизненный цикл здания, городское развитие, окружающая среда

Для цитирования. Чжан Хаожань, Шеина С.Г., Белаш В.В. Пути устойчивого развития для городской эко-архитектуры. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2025;4(2):85–95. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-2-85-95>

Sustainable Development Paths for Urban Eco-Architecture

Zhang Haoran¹ , Svetlana G. Sheina² , Vladimir V. Belash²  

¹Shandong Jiaotong University, Jinan, Shandong Province, China

²Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

 ybelash@donstu.ru

Abstract

Introduction. Environmental development issues have become acutely relevant of late. Therefore eco-architecture is taking centre stage. By using sustainable design concepts and eco-friendly materials, eco-architecture reduces dependence on natural resources, as well as energy consumption and waste emissions, thus effectively decreasing the burden on the environment. Hence not only is eco-architecture an essential area of sustainable urban development, but also provides one with a practical way of designing a more harmonious and high-quality living environment. The aim of the study is to identify the principles of eco-architecture and assess its impact on the sustainable development of the urban environment. The impact of eco-architecture on the entire construction cycle of buildings and structures from the moment of construction to the demolition of the building is examined, and the ways of sustainable development of urban architecture are identified.

Materials and Methods. Ways of sustainable development of eco-architecture in the modern world are analyzed. Various negative impacts such as air and water pollution, noise, landscape and ecosystem disturbance occur during the construction and operation of buildings. To minimise these impacts, it is necessary to develop environmental protection measures and take environmental aspects into account at all stages of design and construction.

Research Results. The study assessed the sustainability of the development of eco-architecture according to the analysis of the life cycle of the building, accounting for the environmental impact at the stages of design, construction, use and demolition of the construction site.

Discussion and Conclusion. The sustainability assessment of eco-architecture is based on the analysis of the building's life cycle, accounting for the environmental impact at all the stages: from design and construction to use and demolition. A comprehensive analysis of the resource consumption and environmental load of the building at different stages would enable one to assess sustainability more accurately. As digital technologies are evolving, the use of intelligent buildings and the Internet of Things (IoT) will enable data to be monitored and analyzed in real time. This will improve the sustainability management of buildings during the operational phase by providing data support in order to optimize resource efficiency.

Keywords: eco-architecture, sustainable development, ecological energy efficiency, low carbon content, resource recycling, environmental friendliness, building lifecycle, urban development, environment

For citation. Zhang Haoran, Sheina SG, Belash VV Sustainable Development Paths for Urban Eco-Architecture. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2025;4(2):85–95. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-2-85-95>

Введение. С ускоренным ростом городов происходит масштабная эксплуатация ранее существовавших природных сред обитания, что приводит к значительному сокращению биоразнообразия и угрозе вымирания многих видов. Интенсивная урбанизация негативно влияет на качество жизни такими факторами, как загрязнение воздушной и водной среды, повышенный шум, сокращение площади зеленых насаждений, высокая плотность застройки и населения. Эти изменения не только нарушили баланс экосистемы, но и создали угрозу для среды обитания человека, а также определили необходимость пересмотра существующих подходов к решению архитектурно-пространственной организации среды города [1]. Ответом на эти вызовы стала концепция эко-архитектуры, которая сочетает в себе бережное отношение к природе и заботу о здоровье и комфорте человека. Корни экологической архитектуры уходят в начало прошлого столетия к теории «управления возобновляемыми ресурсами», которая рассматривала вопросы замены традиционных источников энергии альтернативными. В ней предлагалось использование солнечного электричества, производимого сферическими коллекторами [2]. Были разработаны варианты солярных установок, которые вырабатывали пар, способный вращать турбины, производящие электрический ток. Однако на практике ни один из предложенных вариантов воплощен в жизнь не был. В Советской России в целом экологические попытки сводились к планированию территорий озеленения советских городов и частично к уменьшению влияния загрязнения промышленностью окружающей среды. И это были лишь первые шаги в развитии зеленой архитектуры [3].

На Западе в период энергетического кризиса 1970-х гг. и последующего за ним повышения мировых цен на топливо усилился интерес к возобновляемым источникам энергии, экономии топливно-энергетических ресурсов,

использующихся для теплоснабжения строительных сооружений. В этот период появляется масса проектов зданий, которые функционируют с помощью солнечной энергии [4].

В 1980-е гг. резко обострились экологические проблемы. Отрицательное воздействие на природу усилилось с ростом масштабов антропогенного воздействия и бурного развития научно-технического комплекса. Здания выбрасывали в атмосферу почти половину всего углекислого газа, поэтому новой целью стала охрана природного мира. Начали создаваться комплексные проекты реконструкции окружающей среды [5]. Например, решение традиционных вопросов садово-парковой архитектуры отныне неразрывно связано с экологическими проблемами, так как для создания устойчивой городской среды необходимо учитывать экологические условия. Так как положение ландшафтного городского пространства усугубляется перенасыщением техникой и соответствующим вытеснением природных компонентов, необходимым становится поддержание гармонических и экологических территорий. Поэтому прилагались значительные усилия по реабилитации и совершенствованию окружающей среды [6].

По прошествии определенного времени появились и новые тенденции в формировании зелёного пространства: «...теперь природу «встраивают» в здание». Растительный мир становится одним из элементов в оздоровлении и развитии городских экосистем. Появляется новое направление — нетрадиционный дизайн (озеленение плоских крыш, включение в архитектуру и интерьер зданий элементов биотической среды: живых растений; воды; камня; материалов, имитирующих текстуру дерева; фрагментов определённых природных зон с поддерживаемым микроклиматом и т. п.) [7].

На рис. 1 представлен завершённый в 2006 году Музей набережной Бранли (Quai Branly Museum) в г. Париж, который представляет собой дикое, неорганизованное нагромождение разноцветных коробок. Чтобы усилить ощущение неразберихи, стеклянная стена стирает границу между внешним уличным пейзажем и внутренним садом. Прохожие не могут различить отражения деревьев или размытые изображения за стеной. Архитектором данного проекта является французский архитектор Жан Нувель. Данный проект спроектирован по принципам экологической архитектуры.



Рис. 1. Музей набережной Бранли (Quai Branly Museum) в Париже¹

Концепция эко-архитектуры предполагает использование процессов, которые отвечают за экологию, эффективное использование ресурсов на протяжении всего жизненного цикла здания. Жизненный цикл здания — это полный непрерывный процесс его создания, эксплуатации и разборки, включающий в себя такие стадии как добыча полезных ископаемых и производство строительных материалов, проектирование, сооружение здания, его функционирование, в том числе снабжение водой, газом, электроэнергией, удаление отходов, периодический ремонт, возможная реконструкция, разборка после окончания срока эксплуатации и вторичное использование полученных материалов [8].

Материалы и методы. Анализ экологических составляющих строительного объекта — это процедура, которая предшествует мероприятиям по возведению, реконструкции, ремонту зданий и сооружений, которая предполагает выявление характера, интенсивности и степени опасности этой деятельности для окружающей среды и здоровья населения. Цель анализа — предотвращение ущерба окружающей среде, а также обеспечение экологической безопасности, охраны, рационального использования и воспроизводства природных ресурсов с учетом государственных, общественных и частных интересов.

¹ Quai Branly Museum, Paris. URL: <https://www.thoughtco.com/buildings-and-projects-by-jean-nouvel-4065275> (дата обращения: 16.04.2025)

Для разработки экологических принципов проектирования строительных объектов необходимо выделить факторы воздействия процессов строительства на окружающую среду. Прямое негативное влияние заключается в повышенном шуме, различных излучениях, выбросе вредных веществ. Косвенное влияние заключается в том, что строительные объекты, здания, сооружения, дороги ежегодно забирают все больше необходимого жизненно важного для человека пространства.

Проведем анализ факторов, влияющих на окружающую среду на каждой стадии строительства здания. На этапе строительства, например, наиболее существенными негативными влияниями на окружающую среду являются:

- загрязнения атмосферного воздуха газопылевыми выбросами (строительная техника и автотранспорт, сварочные и лакокрасочные работы и т.д.);
- загрязнения подземных и сточных вод (заправка техники и автотранспорта, проливы бетонной смеси и различных растворов и т.д.);
- негативные воздействия на акустическую среду (строительная техника, свайные работы и т.д.);
- загрязнения окружающей среды строительными отходами;
- нарушение естественного ландшафта местности
- вывоз грунта после производства земляных работ, который складировался в отвалах (отчуждает территории, меняет ландшафт, способствует эрозии);
- увеличение количества бытовых отходов;
- влияние на животных, птиц, рыб, условия их обитания.

На стадии эксплуатации здания возникают следующие негативные влияния:

- нарушение режима освещенности солнцем поверхности земли (инсоляция);
- нарушение ветрового режима;
- нарушение гидрологического режима территории;
- уменьшение количества растительности;
- загрязнение почвы и воды;
- запыление, тепловое загрязнение;
- увеличение автомобильных потоков и, следовательно, воздействие на акустическую среду.

В случае, если будет производиться реконструкция здания, то негативное влияние будет от загрязнения атмосферного воздуха, загрязнения поверхностных и подземных вод, загрязнения растительного покрова, образования отходов и шумового загрязнения, а также нужно учитывать влияние реконструируемого объекта на рядом расположенные здания.

Для более полной оценки воздействия проекта на окружающую природную среду обычно проводится анализ и ее компонентов: климата и микроклимата, воздушного пространства, геологических слоев, водоемов, почвы, растительного и животного мира, историко-культурного наследия, социальной и техногенной среды.

Все это создает необходимость разработки специальных природоохранительных мероприятий, обеспечивающих экологический баланс между человеком и природой, а также устойчивое развитие районов строительства и прилегающих территорий, городов в целом. Это и реализуется в процессе проектирования и строительства всего жизненного цикла здания как единой цепочки. Анализ производить важно, потому как это позволяет решать многие проблемы еще на этапе проектирования, планирования, строительства и на остальных стадиях. Ведь каждый этап состоит из множества элементов, и неверно подобранные материалы или конструктивные решения могут увеличить расходы за счет низкой энергоэффективности. Необходимо в процессе анализа учитывать и экологический аспект, потому что сегодня законодательство ужесточает экологические нормы и требования. И от грамотного выбора материалов и технологий зависит, насколько серьезный след проект оставит в окружающей среде. Поэтому использование принципов эко-архитектуры особенно актуально.

В настоящее время, например, повсеместно внедряется использование методики проведения анализа жизненного цикла здания — LCA (Life Cycle Assessment), которая включает разноплановые шаги: от сбора исходных данных до их интерпретации [9, 10].

Анализ жизненного цикла LCA — это систематическая методология, применяемая для оценки полного цикла существования продукта, оборудования, здания или системы. Этот процесс охватывает все этапы (от добычи сырья до утилизации), выявляя влияние на затраты, производительность и окружающую среду [11]. Это помогает определить, на что обращать внимание: экологичность, затраты, производительность, воздействие на окружающую среду.

Вопросы экологического строительства и эксплуатации зданий занимают важное место в решении экологических проблем города. Сегодня этим вопросом занимаются во всем мире [12, 13]. В результате чего строительная сфера претерпевает ряд изменений, которые позволяют снизить воздействие на окружающую среду и рационально использовать природные ресурсы.

В настоящее время качество жизни в городе начинает характеризоваться количеством зданий, сертифицированных по международным «зеленым» стандартам, таким как The Leadership in Energy & Environmental Design (LEED), разработанным еще в 1993 году. За ним появилось много новых стандартов сертификации: от британского BREEAM, американских WELL и Fitwel и других до российских — «Зеленые стандарты» и Green Zoom [14].

«Зеленое» сертифицирование предоставляет возможность не только реализовать строительный проект, учитывая экологические критерии, но и способствует улучшению показателей на всех этапах жизненного цикла здания: от проектирования и строительства до ввода в эксплуатацию и последующей утилизации.

В России действуют экологические стандарты СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 «Зеленое строительство», система «Еco Village» для коттеджных поселков, стандарт GREEN ZOOM. Также в 2009 году был принят Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности», который положил начало формированию новой системы государственного регулирования в данной области [15].

Результаты исследования. Снижение отрицательного влияния на экосистемы и сбережение различного рода ресурсов, особенно из числа невозобновляемых, происходит за счет создания условий для эффективного взаимодействия естественных (природных) форм и создаваемых человеком средовых объектов. Результатом этого взаимодействия являются совершенствование и стабилизация параметров микроклимата внутри создаваемых объектов с окружающей средой, что снижает энергозатраты на работу соответствующих энергосистем, а также сохраняется и повышается устойчивость экосистемы, в состав которой внедряются строящиеся объекты [16]. Пути развития и совершенствования эко-архитектуры подчинены определенным принципам. Эти принципы являются основополагающими для обеспечения эффективной реализации возможностей в развитии городской среды.

Основными принципами эко-архитектуры, которые способствуют развитию городов являются:

1. Использование энергосберегающих технологий и использование альтернативных источников энергии, что подразумевает использование в зданиях солнечных панелей, ветряных турбин, а также высокоэффективные системы отопления и охлаждения [17].

На рис. 2 приведено здание The Edge — 15-этажное офисное здание в финансовом районе Zuidas в г. Амстердам. Построено оно в 2015 году, общая площадь — 40 000 м². В здании установлено почти 30 000 датчиков, которые собирают анонимные данные о системах отопления и охлаждения, освещения, занятости помещений и многих других аспектах. На 14-ти из 15-ти этажей стены здания можно свободно перемещать, что позволяет пользователям менять рабочее пространство в соответствии с их потребностями. Британское рейтинговое агентство BREEAM присвоило зданию рекордную оценку устойчивости в 98,4 %, что является самым высоким показателем за всю историю.



Рис. 2. Офисное здание в финансовом районе Zuidas²

2. Здания должны строиться с использованием экологически чистых материалов, поддерживать энергоэффективность и обеспечивать более длительный срок службы, чтобы минимизировать отходы и потребность

² Офисное здание The Edge. Dirk Verwoerd. URL: <https://archi.ru/projects/world/9650/ofisnoe-zdanie-the-edge> (дата обращения: 16.04.2025)

в постоянной реконструкции. Для создания экологичной среды могут использоваться как ранее не используемые материалы, так и переработанные. Кроме того, существует много альтернативных материалов, которые являются более экологичными. Использование возобновляемых и перерабатываемых строительных материалов не только помогает сократить добычу ресурсов, но и снижает выбросы углекислого газа в процессе строительства [18].

На рис. 3 приведена солнечная электростанция, размещенная на крыше здания в Индонезии в г. Бонтанг. Подобная солнечная электростанция производит чистую энергию и сокращает выбросы углеродного газа в атмосферу. Её возможности покрывают энергетические потребности офисных помещений до 30 %. Общая площадь электростанции составляет 6 500 м², а мощность — более 1000 кВт с выходным напряжением 380 В.



Рис. 3. Размещение солнечной электростанции на крыше здания. Индонезия, г. Бонтанг, Восточный Калимантан³

3. Создание комфортной среды для человека. Зелёные насаждения и общественные парки являются неотъемлемой частью экологического городского планирования. Они снижают уровень шума и загрязнения воздуха, улучшают качество жизни горожан и способствуют сохранению биоразнообразия. Здесь человек может почувствовать единение с природой [19].



а)



б)

Рис. 4. Энергоэффективные здания с использованием концепции зеленого дизайна: а) г. Чэнду, юго-западный Китай, долина р. Миньцзян⁴; б) сад библиотеки Варшавского университета⁵

³ Солнечные электростанции на крыше здания. Индонезия, г. Бонтанг. URL: https://awsimages.detik.net.id/api/wm/2022/08/19/plts-atap-pkt-di-bontang_169.jpeg?wid=54&w=650&v=1&t=jpeg (дата обращения: 16.04.2025)

⁴ Энергоэффективные здания Китая. URL: https://ad009cdnb.archdaily.net/wp-content/uploads/2012/10/5078dce228ba0d1640000085_zcb-zero-carbon-building-ronald-lu-and-partners_zcb_01_and_one_planet_living_loop.jpg (дата обращения: 16.04.2025)

⁵ Сад библиотеки Варшавского университета. URL: <https://i.pinimg.com/originals/bd/cf/77/bdcf77be7986fd3f72fec3c6038f7ede.jpg> (дата обращения: 16.04.2025)

4. Защита биоразнообразия. Создание экологических коридоров, парковых зон и вертикальное озеленение зданий, как видно на рис. 5, помогает сохранить местные экосистемы и обитающие в них виды растений и животных. Это важно для поддержания баланса природных процессов и биологического разнообразия [20].



Рис. 5. Современный ландшафтный дизайн⁶

5. Разумное управление отходами. Городские архитектурные решения должны иметь системы сбора и переработки отходов, чтобы минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Важно также поощрять сортировку отходов среди населения [21].

Здание The Crystal в г. Лондон, Великобритания (рис. 6) — это экспозиционный центр, посвященный устойчивому развитию и экологической ответственности. Здание оснащено фотоэлектрическими и солнечными панелями для получения электрической энергии, а также использует систему утилизации отходов и энергоэффективные технологии.



Рис. 6. Здание The Crystal в г. Лондон, Великобритания⁷

⁶ Bæredygtig klimasikring hædret med betonbranchens Oscar. URL: <https://estatemedia.dk/dk/2023/06/02/baeredygtig-klimasikring-haedret-med-betonbranchens-oscar/> (дата обращения: 16.04.2025)

⁷ Лондон: Кристал – самое экологичное здание в мире. URL: <https://ru.baltic-review.com/2012/09/21/london-kristall-the-crystal-samoe-ekologichnoe-zdanie-v-mire/> (дата обращения: 16.04.2025)

6. Адаптивность. Городская архитектура должна быть гибкой и способной адаптироваться к изменяющимся климатическим условиям и проблемам окружающей среды. Это включает в себя использование искусственного интеллекта, «умных» городских систем и прогнозирование климатических изменений для эффективного управления городом [22, 23].

Рассмотрим основные принципы (таблица 1), которыми руководствуется эко-архитектура, позволяющие снижать негативные последствия на экологию в зависимости от стадии жизненного цикла здания [24].

Таблица 1

Основные пути эко-архитектуры

Стадия проектирования	1. Учет окружающей среды на всех стадиях — от проектирования до сноса здания. 2. Учет качества жизни жильцов на всех стадиях строительства. 3. Дизайн, который позволяет адаптироваться к окружающей среде.
Стадия строительства	1. Использование низкоуглеродных материалов и технологий. 2. Эффективное и рациональное использование доступных ресурсов и возобновляемых источников энергии. 3. Восстановление экологического баланса на прилегающих территориях. 4. Внедрение системы управления отходами. 5. Повторное использование ресурсов и конструктивных элементов здания. 6. Использование нетоксичных устойчивых материалов.
Стадия эксплуатации	1. Внедрение энергосберегающих технологий. 2. Внедрение системы управления отходами. 3. Повторное использование ресурсов и конструктивных элементов здания.

Большую роль в решении экологических проблем городов играет переход к устойчивому развитию городов. Термин «зеленая» архитектура у многих ассоциируется с домами, фасады и крыши которых полностью покрыты зеленью, а это не единственный способ сделать здание более экологичным [25]. Поэтому здания строятся из натуральных материалов, активно применяются энергосберегающие технологии и грамотно используется выделенная под застройку земля. Конечно, пока массового спроса на зеленую архитектуру в России нет, но некоторые технологии уже активно используются. Например, снижение энергопотребления за счет регулирования отопления, использования датчиков движения и светодиодного освещения в подъездах многоквартирных домов. Во многих странах все это стало известным и обыденным, а экологические решения дополнились системами очистки дождевой воды и садами на крышах [26].

Кроме того, будущее устойчивого развития городов зависит от множества факторов, включая технологические инновации, политическую волю, участие общественности и глобальное сотрудничество. Развитие умных технологий, таких как Интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (ИИ) и большие данные, открывает новые возможности для оптимизации городских процессов, улучшения качества жизни горожан и снижения воздействия на окружающую среду.

Активное участие граждан и сообществ в процессах планирования и принятия решений, а также образовательные программы, направленные на повышение осведомленности о принципах устойчивого развития, являются ключевыми для достижения долгосрочных целей.

В конечном итоге будущее устойчивых городов будет определяться нашей способностью адаптироваться к изменениям, инновационно мыслить и работать вместе ради общего блага.

Обсуждение и заключение. Эко-архитектура естественным образом помогает планете, разумно используя местные материалы и энергию. Использование ее принципов позволяет сокращать загрязнение окружающей среды, сохраняет природу и поддерживает здоровье.

Применение современных строительных технологий и материалов позволяет проектировать здания, которые обладают большей гибкостью и эффективностью в области экоустойчивой архитектуры. Кроме того, сочетание новых технологических возможностей и опыта, накопленного в традиционной архитектуре, позволит находить новые решения, обеспечивающие максимальную функциональную эффективность, долговечность и экономичность на всех этапах жизненного цикла здания.

Список литературы/References

1. Аллакулыева Д.М., Атайев Е.Д., Атайева А.А. Устойчивое строительство: эко-архитектура и зеленые технологии. *Вестник науки*. 2024;10(79):970–973. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivoe-stroitelstvo-eko-arhitektura-i-zelenye-tehnologii/viewer> (дата обращения 16.04.2025).

Allakulyeva DM, Atayev ED, Atayeva AA Sustainable Construction: Eco-Architecture and Green Technologies. *Bulletin of Science*. 2024;10(79):970–973. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivoe-stroitelstvo-eko-arhitektura-i-zelenye-tehnologii/viewer> (accessed: 16.04.2025) (In Russ.).

2. Емельяненко К.М. Обеспечение экологической безопасности строительства. *Молодой ученый*. 2018;5(191):20–22. URL: <https://moluch.ru/archive/191/48178> (дата обращения: 06.05.2025).
- Emelianenko KM Ensuring Environmental Safety of Buildings. *Young Scientist*. 2018;5(191):20–22. (In Russ.) URL: <https://moluch.ru/archive/191/48178> (accessed: 06.05.2025)
3. Ринк Ю. *Архитектура: Экотехнологии и устойчивое развитие на практике*. URL: <https://www.houzz.ru/statyi/arhitektura-ekotekhnologii-i-ustoychivoe-razvitie-na-praktike-stsetivw-vs~144254770> (дата обращения 16.04.2025).
- Rink J *Architecture: Ecotechnology and Sustainable Development in Practice*. (In Russ.) URL: <https://www.houzz.ru/statyi/arhitektura-ekotekhnologii-i-ustoychivoe-razvitie-na-praktike-stsetivw-vs~144254770> (accessed: 16.04.2025) (In Russ.).
4. Ye Jiong, Zhang Ming, Zhu Dasha. Несколько мыслей об экологическом дизайне зданий. *Central China Architecture*. 2009;27:47–51. <https://doi.org/10.4324/9781315881348>
5. Lan Zhang, Difei Zhao, Rui Li, Yingxing Chen. Optimization of urban scenic spot planning based on ecological chain and reversed-planning theory — Using Yunlong Lake in Xuzhou city as an example. *E3S Web Conf*. 2021;237:04036. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123704036>
6. Енин А.Е., Акуфуна К. Основные принципы устойчивого проектирования искусственной (архитектурной) среды жизнедеятельности. *Архитектурные исследования*. 2017;1(9):71–79. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29325053> (дата обращения 16.04.2025).
- Enin AE, Akufuna K Basic Principles of Sustainable Design of an Artificial (Architectural) Living Environment. *Architectural Research*. 2017;1(9):71–79. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29325053> (accessed: 16.04.2025).
7. Белоголовский В. «Зеленый стиль» Кена Янга. URL: <https://archi.ru/press/world/25523/zelenyi> (дата обращения 16.04.2025).
- Belogolovsky V "Green Style" by Ken Yang. (In Russ.) URL: <https://archi.ru/press/world/25523/zelenyi> (accessed: 16.04.2025)
8. *Ecological Architecture: The Latest Architecture and News*. URL: <https://www.archdaily.com/tag/ecological-architecture> (дата обращения 16.04.2025).
9. Мых М.Э. Архитектурно-экологические приёмы 20-21 века. *Наукосфера*. 2021;7–2:35–39. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5144694>
- Mykh ME Architectural and Ecological Techniques of the 20th-21st Century. *Science Sphere*. 2021;7–2:35–39. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5144694>
10. Cui Min. Предварительное исследование стратегий проектирования экологических зданий. *Building Energy Conservation*. 2008;2:35–43.
11. Черныш Н.А., Кушпаев А.А. Современные тенденции в эко-архитектуре. *Проблемы инженерной графики и профессионального образования*. 2013;16(1). <https://doi.org/10.32523/2220-685X-2013-16-1-11-14>
- Chernysh NA, Kushpaev AA Modern Trends in Eco-Architecture. *Problems of Engineering Graphic and Professional Education*. 2013;16(1). (In Russ.) <https://doi.org/10.32523/2220-685X-2013-16-1-11-14>
12. Давыдова О.В., Зуземиль Д.В. Модель взаимосвязи природы, человека и архитектуры. *Тенденции развития науки и образования*. 2018;45-5:46–51. <https://doi.org/10.18411/lj-12-2018-114>
- Davydova OV, Zuzemil DV Model of Interrelation of Nature, Man and Architecture. *Trends in Science and Education*. 2018;45-5:46–51. (In Russ.) <https://doi.org/10.18411/lj-12-2018-114>
13. Гусева Г.В., Астафьев С.А. Интеграция технологий информационного моделирования и интернета вещей в строительстве. *Baikal Research Journal*. 2020;11(3). [https://doi.org/10.17150/2411-6262.2020.11\(3\).9](https://doi.org/10.17150/2411-6262.2020.11(3).9)
- Guseva GV, Astafyev SA Integration of Information Modeling Technologies and the Internet of Things in Construction. *Baikal Research Journal*. 2020;11(3). (In Russ.) [https://doi.org/10.17150/2411-6262.2020.11\(3\).9](https://doi.org/10.17150/2411-6262.2020.11(3).9)
14. Pijak J. From Solar Art Installations to Self-Sustaining Homes. URL: <https://www.trendhunter.com/slideshow/2023-eco-architecture> (accessed: 16.04.2025).
15. O'Keefe A. 10 Most Popular Eco-buildings in the World. URL: <https://manofmany.com/living/architecture/most-popular-eco-buildings-in-the-world> (accessed: 16.04.2025).
16. Лезина Е.Г. *Экологический подход в архитектуре*. URL: <https://izron.ru/articles/aktualnye-problemy-tekhnicheskikh-nauk-v-rossii-i-za-rubezhom-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezh/sektsiya-10-stroitelstvo-i-arhitektura-spetsialnost-05-23-00/ekologicheskij-podkhod-v-arhitekture/> (дата обращения 16.04.2025).
- Lezina YeG *Ecological Approach in Architecture*. (In Russ.) URL: <https://izron.ru/articles/aktualnye-problemy-tekhnicheskikh-nauk-v-rossii-i-za-rubezhom-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezh/sektsiya-10-stroitelstvo-i-arhitektura-spetsialnost-05-23-00/ekologicheskij-podkhod-v-arhitekture/> (accessed: 16.04.2025).

17. *Eco Brutalist Architecture: Green Meets Concrete*. URL: <https://archeetector.com/eco-brutalist-architecture/> (accessed: 16.04.2025).
18. *43 Breathtaking Organic Architecture Concept Ideas 2024*. URL: <https://sustainability-success.com/organic-architecture-concept-ideas/> (accessed: 16.04.2025).
19. Юшина С.П. Эко-архитектура. *Центральный научный вестник*. 2018;24(65):48. URL: <http://cscb.su/n/032401/032401033.htm> (дата обращения 16.04.2025).
- Yushina SP Eco-Architecture. *Central Scientific Bulletin*. 2018;24(65):48. (In Russ.) URL: <http://cscb.su/n/032401/032401033.htm> (accessed: 16.04.2025)
20. Jain A. *Eco-Futurism in Architecture: Harmonizing the Built and Natural Worlds*. URL: <https://www.re-thinkingthefuture.com/narratives/a11932-eco-futurism-in-architecture-harmonizing-the-built-and-natural-worlds> (accessed: 16.04.2025).
21. Lopez P.J. *What is Biophilic Architecture? Seven Main Principles*. URL: <https://www.render4tomorrow.com/what-is-biophilic-architecture> (accessed: 16.04.2025).
22. *The shape of things to come eco architecture*. <https://baku-magazine.com/home-page/eco-architecture/> (accessed: 16.04.2025).
23. *Eco-architecture: a green tendency in the construction area*. URL: <https://www.vreim.es/eco-architecture-a-green-tendency-in-the-construction-area/> (accessed: 16.04.2025).
24. Hohenadel K. *What Is Sustainable Architecture? Environmentally Friendly Building: History, Characteristics, and Examples*. URL: <https://www.thespruce.com/what-is-sustainable-architecture-4846497> (accessed: 16.04.2025).
25. Смирнов Е.Б., Дацюк Т.А., Таурит В.Р. Оценка экологической безопасности проектируемых зданий. *Вода и экология: проблемы и решения*. 2017;3(71):82–99. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2017.21.3.83-99>
- Smirnov EB, Datsyuk TA, Taurit VR Assessment of Environmental Safety of Buildings under Construction. *Water and Ecology: Problems and Solutions*. (In Russ.) 2017;3(71):82–99. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2017.21.3.83-99>
26. Рогова А. *Экологичная архитектура: что это такое и почему за ней будущее*. URL: <https://design-mate.ru/read/an-experience/green-architecture-and-future> (дата обращения 16.04.2025).
- Rogova A Eco-Friendly Architecture: What it is and Why it is the Future. (In Russ.) URL: <https://design-mate.ru/read/an-experience/green-architecture-and-future> (accessed: 16.04.2025)

Об авторах:

Чжан Хаожань, магистрант по направлению «Civil Engineering» Шаньдунского транспортного университета (Китайская народная республика, провинция Шаньдун г.Цзинань), [ORCID](#)

Светлана Георгиевна Шеина, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой городского строительства и хозяйства Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162), [ScopusID](#), [ORCID](#), rgsu-gsh@mail.ru

Владимир Валентинович Белаш, кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация г. Ростов-на-Дону, ул.Социалистическая,162), [ScopusID](#), [ORCID](#), rgsu-gsh@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

Чжан Хаожань: формирование основной концепции, методология исследования, подготовка текста, формирование выводов.

С.Г. Шеина: научное руководство, анализ результатов исследований.

В.В. Белаш: доработка текста, корректировка выводов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Zhang Haoran, Master student of Shandong University, Shandong Jiaotong University (Jinan, Shandong Province, China), [ORCID](#)

Svetlana G. Sheina, Dr.Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Urban Construction and Agriculture, Don State Technical University (162 Sotsialisticheskaya Str., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation) [ScopusID](#), [ORCID](#), rgsu-gsh@mail.ru

Vladimir V. Belash, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Urban Construction and Agriculture, Don State Technical University (162 Sotsialisticheskaya Str., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ScopusID](#), [ORCID](#), rgsu-gsh@mail.ru

Claimed contributorship:

Z Haoran: development of the idea, research methodology, manuscript preparation, analysis and drawing conclusions

SG Sheina: scientific guidance, analysis and drawing conclusions

VV Belash: revision of the manuscript, revision of conclusions.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final version of manuscript.

Поступила в редакцию / **Received** 17.04.2025

Поступила после рецензирования / **Reviewed** 12.05.2025

Принята к публикации / **Accepted** 28.05.2025