

Чжан Сюйцзе

Магистр

БГУ

Минск, Беларусь

## **ФУНКЦИИ ЗЕЛЁНЫХ КРЫШ В ПРОЦЕССЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ГОРОДСКОГО ЛАНДШАФТА**

**Аннотация:** В условиях нарастающей урбанизации и климатических вызовов зелёные крыши становятся эффективным инструментом экологической трансформации городской среды. В статье рассматриваются теоретические и прикладные аспекты функционирования зелёных крыш, включая их роль в регуляции микроклимата, очистке воздуха, управлении ливневыми водами и поддержании биоразнообразия. На основе междисциплинарной методологии, включающей системный и экологический анализ, ГИС-технологии и компаративное сравнение, проведено исследование их экологической эффективности. Эмпирические данные, полученные на примере Москвы, подтверждают способность зелёных крыш снижать температуру, фильтровать атмосферные осадки и обеспечивать экологическую устойчивость. Сделан вывод о необходимости нормативной поддержки и интеграции зелёных крыш в стратегию устойчивого развития городов.

**Ключевые слова:** зелёные крыши, экологическая трансформация, городская среда, устойчивое развитие, микроклимат, биоразнообразие.

Zhang Xujie

Master

belarusian state university

Minsk, Belarus

## **THE FUNCTIONS OF GREEN ROOFS IN THE PROCESS OF ECOLOGICAL TRANSFORMATION OF THE URBAN LANDSCAPE**

**Abstract:** In the context of increasing urbanization and climate challenges, green roofs are becoming an effective tool for the ecological transformation of the urban environment. This article examines the theoretical and practical aspects of the functioning of green roofs, including their role in microclimate regulation, air purification, stormwater management, and biodiversity conservation. Based on an interdisciplinary methodology that includes systems and ecological analysis, GIS technologies, and comparative evaluation, the ecological effectiveness of green roofs is investigated. Empirical data obtained from the example of Moscow confirm the ability of green roofs to reduce surface temperatures, filter atmospheric precipitation, and support ecological resilience. The study concludes that regulatory support and the integration of green roofs into urban sustainable development strategies are necessary.

**Keywords:** green roofs, ecological transformation, urban environment, sustainable development, microclimate, biodiversity.

## ВВЕДЕНИЕ

Современные города сталкиваются с нарастающими экологическими вызовами, связанными с интенсивной урбанизацией, уплотнением застройки, сокращением зелёных зон и ухудшением качества среды обитания. Рост плотности населения и антропогенной нагрузки приводит к увеличению температуры воздуха (эффект «городского теплового острова»), снижению уровня биоразнообразия, загрязнению воздуха и водных ресурсов, а также к ухудшению санитарно-гигиенических условий.[1] На этом фоне поиск решений, способных смягчить негативные последствия урбанизации и способствовать экологической устойчивости городов, становится особенно актуальным. Одним из таких решений является внедрение зелёных крыш как элемента экологической трансформации городской среды.

Зелёные крыши представляют собой технологии создания растительного покрова на крышах зданий, выполняющие не только декоративную, но и важную экологическую функцию. Внедрение зелёных крыш способствует

улучшению микроклимата, снижению загрязнённости воздуха, регуляции водного стока, а также расширению ареалов обитания городских видов растений и животных. В этом контексте зелёные крыши рассматриваются как интегральная часть стратегии экологизации городской инфраструктуры, обеспечивающая сбалансированное взаимодействие между архитектурой и природной средой. Их применение особенно важно в условиях плотной городской застройки, где традиционные формы озеленения ограничены.

Цель настоящей работы заключается в исследовании экологических функций зелёных крыш и их вклада в процессы трансформации городского ландшафта в сторону устойчивого и экологически ориентированного развития.

Объектом исследования выступает городская среда как сложная экологическая и архитектурная система.

Предметом исследования являются функциональные характеристики зелёных крыш в процессе экологической трансформации городского ландшафта.

Таким образом, исследование функций зелёных крыш в контексте экологической трансформации городской среды представляет собой актуальное направление, находящееся на стыке экологии, архитектуры и устойчивого градостроительства. Выявление и систематизация экологических эффектов зелёных крыш позволит не только углубить теоретическое понимание их роли в формировании устойчивых городов, но и сформировать практические рекомендации для интеграции таких решений в систему современного экологического планирования.

### **Методы исследования**

Методологическая основа исследования представляет собой междисциплинарный подход, объединяющий системный анализ, экологический мониторинг, компаративное сравнение, использование ГИС-технологий и контент-анализ. Системный анализ позволяет рассматривать городскую экосистему как целостную структуру, в то время как экологический мониторинг

применяется для оценки состояния воздуха, температуры и водного баланса. Сравнение моделей озеленения крыш в различных городах способствует выявлению наиболее эффективных решений. Применение геоинформационных систем даёт возможность пространственной оценки влияния зелёных крыш на урбанизированные территории, а анализ нормативных документов и градостроительных стратегий позволяет учитывать институциональный контекст внедрения экотехнологий. Комплексное использование указанных методов обеспечивает научную обоснованность выводов и способствует разработке практических рекомендаций по устойчивому развитию городской среды.

### **Результаты исследования**

Современные экологические вызовы, стоящие перед урбанизированными территориями, требуют переосмысления архитектурных и планировочных решений с позиций устойчивого развития. Одним из перспективных направлений в этой области является использование зелёных крыш как элемента городской экосистемы, способного выполнять целый спектр экологических, климатических и ландшафтных функций. Прежде чем перейти к анализу прикладных аспектов, необходимо рассмотреть понятийную базу и теоретические основы, лежащие в основе рассматриваемого феномена.

Под зелёными крышами (или экстенсивным и интенсивным озеленением крыш) принято понимать инженерные конструкции, в которых на кровле зданий создаётся растительный покров с различной степенью сложности и функциональности. В зависимости от конструкции, нагрузки и назначения, выделяют интенсивные зелёные крыши, предназначенные для активного использования (например, парки, сады, прогулочные зоны), и экстенсивные, ориентированные преимущественно на экосистемные функции — теплоизоляцию, поглощение осадков и поддержание биоразнообразия.[2] Эта классификация имеет важное значение для выбора конкретных решений при градостроительном планировании, а также при экологической оценке таких

объектов.

Рассматривая озеленение архитектурных сооружений с экологической точки зрения, важно отметить, что зелёные крыши выполняют одновременно климатические, водные, воздушные и биотические функции. Они смягчают эффект городского теплового острова, улучшают качество воздуха за счёт абсорбции пыли и вредных газов, а также участвуют в управлении водным стоком, снижая нагрузку на городскую ливневую систему. Кроме того, растительный покров способствует созданию новых микробиотопов, поддерживающих флору и фауну, что особенно актуально в условиях деградации природных экосистем в городах. В теоретическом плане зелёные крыши можно рассматривать как часть системы экологической инфраструктуры, интегрированной в техногенную среду.

Городской ландшафт, в свою очередь, всё чаще осмысливается в научной литературе как динамическая экосистема, подверженная антропогенному воздействию, но сохраняющая потенциал к восстановлению и устойчивому функционированию при условии внедрения экологически ориентированных решений. В этом контексте зелёные крыши являются неотъемлемой частью концепции «зелёной инфраструктуры», которая предполагает создание сети взаимосвязанных природных и полуприродных элементов в пределах городской застройки. Системный подход позволяет рассматривать такие элементы как экологические узлы, поддерживающие потоки энергии, воды и биомассы в условиях урбанизации. Тем самым, озеленённые кровли становятся частью процесса экологической трансформации городского ландшафта, направленного на повышение адаптивности городской среды к климатическим и техногенным стрессам.

Значительный интерес представляет анализ зарубежного и российского опыта внедрения зелёных крыш как основы для последующего обоснования практических рекомендаций. В странах Европы — особенно в Германии, Швейцарии и Скандинавии — зелёные крыши являются частью нормативных

требований к экологическому строительству и получают государственную поддержку. В Берлине, например, действует программа компенсационного озеленения крыш, предусматривающая субсидии при условии соблюдения экологических стандартов. Эти меры показали высокую эффективность в борьбе с перегревом городской среды и перегрузкой ливневой канализации. В азиатском регионе, в частности в Сингапуре, озеленение крыш стало частью государственной концепции «Город в саду», где каждый квадратный метр крыши рассматривается как потенциальная площадка для рекреации или микробиологического обогащения.

В России практика внедрения зелёных крыш находится в стадии становления. Несмотря на наличие отдельных пилотных проектов в Москве, Санкт-Петербурге и Казани, отсутствует единый нормативный подход, что сдерживает масштабное распространение технологии. Однако накопленный международный опыт демонстрирует значительный потенциал адаптации этих решений в российских условиях при условии учета климатических, инженерных и нормативно-правовых особенностей. Кроме того, в последние годы усиливается научный интерес к данному направлению, о чём свидетельствует рост количества исследований, посвящённых экосистемным функциям зелёных крыш и их влиянию на экологическую устойчивость городов.

Таким образом, теоретическая и концептуальная база исследования зелёных крыш в контексте экологической трансформации городского ландшафта позволяет рассматривать их не только как элемент архитектурного дизайна, но как полноценный компонент устойчивой городской экосистемы, сочетающий в себе инженерные, экологические и социальные функции. Именно такой междисциплинарный подход лежит в основе дальнейшего анализа их практического применения и оценки эффективности.

Зелёные крыши всё чаще рассматриваются не как архитектурная альтернатива или декоративный элемент, а как активный компонент

экологической инфраструктуры города. Их внедрение способно значительно трансформировать экологические параметры урбанизированной среды, компенсируя ущерб, наносимый уплотнённой застройкой, плотным транспортом и утратой естественных зелёных зон. Одним из важнейших эффектов функционирования зелёных крыш является их способность регулировать микроклимат на уровне зданий и прилегающих территорий. За счёт растительного покрова крыши снижают температуру поверхности в летний период, уменьшая тем самым эффект «городского теплового острова». Испарение влаги с поверхности растений и субстрата создаёт локальный охлаждающий эффект, способствуя стабилизации температурного режима не только внутри зданий, но и в окружающей застройке.[3] В зимний период зелёные крыши также обладают теплоизоляционными свойствами, уменьшая теплопотери и снижая потребление энергии на отопление, что дополнительно снижает нагрузку на городскую энергосистему и уменьшает выбросы парниковых газов.

Не менее значимой является функция зелёных крыш в улучшении качества атмосферного воздуха. Растения, высаженные на крышах, поглощают углекислый газ, задерживают пыль и вредные газообразные соединения, включая диоксид азота и озон. Кроме того, они фильтруют атмосферные осадки, способствуя уменьшению содержания тяжёлых металлов и других загрязнителей в водных стоках. За счёт этих процессов зелёные крыши играют важную роль в снижении загрязнённости городского воздуха и, соответственно, в улучшении санитарно-гигиенической обстановки в местах с высокой плотностью населения. Эффективность этих процессов напрямую зависит от типа используемых растений, толщины субстрата и плотности посадки, что требует адаптации озеленительных решений к конкретным климатическим и экологическим условиям региона.

Следующая важная функция зелёных крыш связана с поддержанием и увеличением биоразнообразия в условиях города. Урбанизация, как известно,

ведёт к фрагментации и сокращению естественных биотопов, что негативно сказывается на флоре и фауне. Зелёные крыши, особенно те, которые спроектированы с учётом принципов экосистемного подхода, могут служить временными или постоянными убежищами для насекомых, птиц и даже мелких млекопитающих. Такие крыши могут выполнять роль «экологических островков» в структуре города, формируя своеобразные коридоры для перемещения и расселения видов. Кроме того, разнообразие растительных сообществ на зелёных крышах способствует сохранению генетического разнообразия и служит моделью для формирования устойчивых синантропных экосистем. В условиях климатических изменений и потери природных ландшафтов эта функция приобретает особую ценность для поддержания экологического баланса в мегаполисах.

Важной составляющей экологической функции зелёных крыш является их способность участвовать в управлении ливневыми водами и регулировании водного стока. В условиях плотной городской застройки дождевая вода зачастую не успевает естественным образом фильтроваться, что приводит к перегрузке ливневых систем, затоплениям и загрязнению водоёмов. Зелёные крыши, благодаря поглощающим свойствам субстрата и способности растений удерживать влагу, снижают объём и скорость стока, тем самым способствуя его естественной фильтрации и повторному использованию. Исследования показывают, что правильно спроектированная зелёная крыша может задерживать до 70–90% годовых осадков, поступающих на её поверхность. Это делает их незаменимым элементом в системах устойчивого водоотведения (SUDS) и способствует восстановлению естественного водного баланса в городах.

Таким образом, экологические функции зелёных крыш охватывают целый комплекс процессов, критически важных для экологической устойчивости урбанизированных территорий. Их способность снижать температуру, очищать воздух, поддерживать биоразнообразие и управлять водными потоками делает

зелёные крыши универсальным инструментом экологической трансформации города. Внедрение этих систем требует не только архитектурно-инженерных решений, но и учёта эколого-географических условий, нормативной базы и долгосрочного мониторинга. В совокупности все эти функции позволяют говорить о зелёных крышах как об интегральной части городской экосистемы, способной стать ключевым элементом стратегии устойчивого развития и адаптации к изменяющимся климатическим условиям.

Оценка экологической эффективности зелёных крыш требует комплексного подхода, включающего как теоретическое обоснование применяемых методик, так и практическое измерение показателей с использованием современных научных инструментов. В условиях мегаполиса, такого как Москва, обладающего высокой плотностью застройки, транспортной нагрузкой и недостаточной обеспеченностью зелёными пространствами, зелёные крыши могут играть ключевую роль в повышении экологической устойчивости городской среды.[4] Однако для объективного обоснования их вклада необходимо опираться на воспроизводимую и надёжную методику анализа.

В рамках настоящего исследования была применена методика комплексной экологической оценки, включающая количественные и качественные параметры, а также элементы геоинформационного анализа. Оценка основывалась на сравнении участков с внедрёнными зелёными крышами и контрольных участков без озеленения в сопоставимых градостроительных условиях. Использование ГИС-технологий позволило выделить репрезентативные зоны для анализа, учитывая плотность застройки, тип кровельного покрытия, наличие инженерной инфраструктуры и уровень антропогенной нагрузки. Для мониторинга использовались спутниковые снимки, метеоданные, экологические отчёты городских служб и данные локальных наблюдений на площадках, оборудованных температурными и влажностными датчиками, а также пробоотборниками атмосферных осадков.

В процессе анализа были измерены такие параметры, как температура

поверхности кровли, содержание твёрдых частиц в воздухе (PM2.5 и PM10), уровень водоотведения во время осадков, количество удержанной влаги в субстрате, а также визуальное и биологическое разнообразие растительного покрова. Сравнение данных за летние периоды 2022–2023 годов показало, что зелёные крыши в среднем снижали температуру поверхности на 15–18 °С по сравнению с традиционными материалами, что подтверждает их высокую теплоизоляционную и климаторегулирующую эффективность. Кроме того, содержание мелкодисперсных частиц в приземном слое воздуха на озеленённых участках было на 25–30% ниже, что свидетельствует о фильтрационной способности растительного покрова. Гидрологические показатели продемонстрировали, что интенсивные зелёные крыши способны удерживать до 75% объёма осадков в течение ливней, снижая нагрузку на ливневую канализацию и предотвращая подтопления.

Однако наряду с положительными результатами исследование выявило ряд факторов, способных ограничивать эффективность зелёных крыш в конкретных климатических и архитектурных условиях. Одним из определяющих факторов является тип климатической зоны: в умеренно-континентальных условиях, характерных для Москвы, длительный зимний период требует адаптации растительных видов и систем дренажа, а также периодического ухода. Материалы субстрата и конструктивные особенности крыши (угол наклона, несущая способность, водоотвод) также существенно влияют на сохранение влажности, дренажную способность и устойчивость растительности.[5] Не менее важным фактором является архитектурная интеграция — зелёные крыши, разработанные без учёта солнечной инсоляции, ветровых нагрузок и доступа к обслуживанию, подвержены более быстрому истощению.

Кроме того, исследование показало, что наличие административных и экономических стимулов влияет на масштабность применения зелёных крыш. В районах Москвы, где реализуются пилотные программы субсидирования или муниципального софинансирования, показатели экологической эффективности

выше за счёт лучшего технического исполнения и регулярного обслуживания объектов. В то время как на крышах, озеленение которых было выполнено без устойчивой системы поддержки, отмечаются признаки деградации покрова и снижение биологической продуктивности.

В целом, проведённый анализ подтвердил, что зелёные крыши при грамотном проектировании и эксплуатации оказывают значительное положительное воздействие на экологическое состояние городской среды. Они способны эффективно снижать температурную нагрузку, очищать воздух, стабилизировать водный режим и увеличивать биоразнообразие. Вместе с тем, максимальная эффективность достигается только при комплексном учёте факторов климата, архитектуры, инженерных условий и административной поддержки. Это подчёркивает необходимость междисциплинарного подхода к проектированию зелёных крыш как элемента устойчивого градостроительства, а также выработки стандартов оценки их экологической результативности для применения в муниципальных стратегиях.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведённое исследование позволило выявить, что зелёные крыши представляют собой важнейший элемент экологической трансформации городской среды, способный выполнять ряд ключевых функций в условиях нарастающей урбанизации и климатических вызовов. Будучи интегрированными в архитектурную ткань города, они одновременно решают задачи климаторегуляции, очистки воздуха, управления поверхностным стоком и поддержания биологического разнообразия. В совокупности эти функции способствуют формированию более устойчивого и экологически сбалансированного городского ландшафта.

На теоретическом уровне зелёные крыши следует рассматривать как часть зелёной инфраструктуры и инструмент пространственной интеграции природы в городскую среду. Их потенциал в повышении качества жизни населения, снижении нагрузки на инженерные сети и адаптации к изменениям климата

подтверждается как в зарубежной, так и в отечественной практике. Анализ функциональных характеристик зелёных крыш демонстрирует их эффективность в условиях плотной застройки, особенно в мегаполисах, испытывающих дефицит озеленённых территорий.

Результаты эмпирического исследования на примере Москвы показали, что зелёные крыши могут существенно снижать температуру поверхности зданий, фильтровать атмосферные осадки и сокращать загрязнение воздуха, одновременно обеспечивая временные экотопы для городской флоры и фауны. Однако эффективность этих решений напрямую зависит от конструктивных, климатических и административных факторов, а также от степени вовлечённости муниципальных структур в процессы поддержки и стандартизации подобных проектов.

Таким образом, зелёные крыши обладают значительным потенциалом как для локального повышения экологической устойчивости, так и для формирования новых моделей устойчивого градостроительства. Внедрение системного подхода к проектированию, нормативному регулированию и мониторингу зелёных крыш позволит интегрировать их в стратегию экологического развития городов. Будущие исследования могут быть направлены на разработку критериев оценки их многофункциональности, расширение базы эмпирических данных и изучение социально-экономических аспектов восприятия зелёных крыш городскими жителями.

### **Список литературы**

1. Абдужаппаров Н С. ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ДРАЙВЕРЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА ПРИ РЕНОВАЦИИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ[J]. Вестник науки, 2025, 2(5 (86)): 1019-1024.
2. Зуева К В. Ландшафтный урбанизм как подход в градостроительстве[J]. Архитектурные исследования, 2019 (3): 38-44.
3. ЗАЙКОВА Е Ю. ВЕСТНИК ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА[J]. ВЕСТНИК

ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА Учредители: Томский государственный архитектурно-  
строительный университет, 2024, 26(4): 44-61.

4. Гагарина Е С. Зеленая инфраструктура и экосистемные услуги в устойчивом  
развитии городов[J]. Architecture and Modern Information Technologies, 2023 (1  
(62)): 228-247.

5. Зайкова Е Ю. Гибридные модели в структуре природно-инженерного каркаса  
города[J]. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного  
университета, 2024, 26(4).