

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-6-50-62

Дубино А.М.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

E-mail: anastuzi@gmail.com

АДАПТАЦИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ БЕЛГОРОДА К КЛИМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЯМ С ПОМОЩЬЮ ВОДОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. В условиях изменения климата вопросы эффективного накопления и перераспределения поверхностного стока становятся всё более актуальными при проектировании и инженерной подготовке городских территорий. Современные задачи градостроительства требуют внедрения инновационных методов управления урбанизацией и адаптации к меняющимся климатическим условиям. Водосбережение и рациональное использование дождевой воды критично для Белгорода как маловодного региона, что требует особого внимания к аккумулярованию и перераспределению поверхностного стока для поддержания гидрологического баланса. В статье исследуются методы и инструменты по управлению водными ресурсами для города Белгорода. Особое внимание уделено актуальности управления поверхностным стоком в условиях роста температуры в городе и сокращения количества осадков при увеличении интенсивности ливней. В работе представлен анализ климатических условий Белгорода и разработана схема экологических рисков и их последствий, характерных для исследуемого региона. Предложена типология городских пространств для внедрения водосберегающих технологий, которая включает: жилые пространства, общественные пространства, зоны транспортной и инженерной инфраструктуры, производственные зоны, природные пространства и рекреационные пространства. Выделены ключевые инструменты для контроля качества и количества воды в исследуемом городе, разработана карта городских территорий с высоким потенциалом для внедрения водосберегающих технологий. Результаты могут стать основой для разработки типологических моделей организации городских пространств с точки зрения управления водными ресурсами и формирования водно-зеленого каркаса Белгорода.

Ключевые слова: управление водными ресурсами, водосберегающие технологии, зелёная инфраструктура, изменение климата, экологические риски, городское планирование, городское пространство

Введение. Проблема формирования устойчивых городских территорий охватывает все жизненные циклы культурных ландшафтов, учитывает многофункциональное назначение системы городского планирования, а также правовые, социальные и экологические компоненты, регулирующие ее развитие [1]. Экологическая безопасность, сохранение природной среды, восстановление естественных ландшафтов, экологизация строительства и повышение экологической грамотности городских жителей – ряд аспектов, ориентированных на устойчивое развитие территорий [2].

Сохранение и рациональное использование дождевой воды способствует поддержанию гидрологического баланса и улучшению микроклимата в городской среде. А в нынешних условиях климатических изменений вопросы аккумулярования и перераспределения поверхностного стока приобретают особую значимость в процессе инженерной подготовки территорий. Задачи современного градостроительства требуют разработки эффективных методов управления урбанизацией и адаптации к меняющимся климатическим условиям.

За последние пять десятилетий в России наблюдается увеличение частоты и интенсивности ливневых дождей с темпами роста на 1–2 % за каждое десятилетие, что было установлено климатологами Института физики атмосферы РАН [3]. Анализ данных показывает, что глобальные изменения климата и рост среднегодовой температуры непосредственно влияют на характер и распределение осадков. В ходе исследования отмечено увеличение доли проливных дождей в общем объеме осадков за период 1966–2016 годов. Ливневые осадки представляют сложность в прогнозировании и могут вызывать серьезные последствия, включая наводнения, подтопления и паводки, что создает угрозу для жизни населения и городской среды, а также наносит значительный экономический ущерб. Сегодня назрела необходимость внесения изменений в нормативные документы для добавления инструментов устройства открытого дренажа в условиях города [4]. Экологически оправданная градостроительная деятельность стремится к экологическому равновесию в застраиваемых ландшафтах с минимальным антропогенным влиянием на окружающую среду и созданием комфортных условий для жизнедеятельности человека [5].

Существующие градостроительные нормативы были созданы на основе климатических данных середины XX века и в настоящее время уже не обеспечивают достаточной защиты городской среды. В связи с этим города не могут адаптироваться к изменяющимся климатическим условиям, инфраструктура остается неустойчивой к внезапным и интенсивным погодным нагрузкам, а отсутствие эффективного управления поверхностным стоком увеличивает риск подтоплений и разрушений. Помимо этого, рост площадей урбанизированных территорий с непроницаемым покрытием и сокращение доли природных ландшафтов также оказывают негативное влияние на водно-зеленый каркас города. Интеграция новых методов управления водным балансом может стать решением этих вопросов. Для предотвращения негативных последствий важно внедрять системы сбора, очистки, хранения и повторного использования дождевых вод для обеспечения комплексного регулирования водных потоков в городской среде и укрепления водно-зеленого каркаса города.

Таким образом, целью исследования является разработка научно обоснованных методов и инструментов водосберегающего проектирования, направленных на управление поверхностным стоком и улучшение гидрологического баланса городской среды Белгорода с учетом его климатических особенностей, и маловодности. Объект исследования – пространственная организация городской среды Белгорода с точки зрения управления поверхностным стоком.

Задачи исследования:

1. Проанализировать климатические и гидрографические особенности г. Белгорода, влияющие на водный баланс города.
2. Выявить экологические риски, связанные с водными ресурсами.
3. Сформировать типологию городских пространств для внедрения водосберегающих решений.
4. Изучить и классифицировать методы водосбережения.
5. Определить наиболее перспективные инструменты водосбережения для интеграции в градостроительную практику г. Белгорода.
6. Разработать для г. Белгорода схему водно-зеленого каркаса с выделением территорий с высоким потенциалом для внедрения водосберегающих технологий.

Исследование направлено на адаптацию градостроительной политики к изменяющимся климатическим условиям для повышения устойчивости городской среды и минимизации экологических рисков.

Материалы и методы. В рамках Стратегии социально-экономического развития Белгородской области на период до 2030 года [6] были утверждены долгосрочные стратегические цели развития Белгородской области, одной из которых является сохранение устойчивого природно-экологического каркаса, переход к современным стандартам экологической безопасности для повышения качества жизни на территории Белгородской области.

Также в настоящее время на территории Белгородской области реализуется Государственная программа «Развитие водного и лесного хозяйства Белгородской области, охрана окружающей среды» [7], направленная на устойчивое управление природными ресурсами и обеспечение экологической безопасности региона. Обратимся к некоторым задачам этой государственной программы:

- устойчивое развитие экономики и общества при условии признания невозможности развития человеческого общества при деградации природы;
- приоритет жизнеобеспечивающих функций биосферы по отношению к прямому использованию ее ресурсов;
- обязательное сохранение и восстановление существующих природных систем;
- открытость экологической информации;
- участие гражданского общества и деловых кругов в принятии и реализации решений в области охраны окружающей среды и рационального природопользования.

Комплекс приоритетных направлений развития и соответствующих им стратегических проектов включает:

1. Ликвидацию и предупреждение загрязнений водных объектов: расчистку водных объектов от загрязнений и зарастания, предотвращение обмеления.
2. Разработку и внедрение систем инжиниринга водно-зеленого каркаса на принципах урбобиоценоза. Пилотным проектом станет внедрение системы инжиниринга на территории города Белгорода на период до 2026 года, включая создание до 20 площадок по озеленению, разработку ГИС «Зеленая инфраструктура городов» и интеграцию сервиса по регулированию и оценке экономических эффектов от хозяйственной деятельности на объектах зеленой инфраструктуры.

Несмотря на предпринимаемые шаги по укреплению водно-зеленого каркаса Белгорода, вопросы водосбережения и рационального управления поверхностным стоком пока остаются недостаточно проработанными, в связи с чем актуальным становится изучение данной темы и разработка предложений, которые могут

способствовать решению этой задачи. Целью государственной программы является сохранение, восстановление и рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды области, что непосредственно пересекается с целями водосберегающего проектирования.

Методами исследования являются изучение природно-климатических и ландшафтных особенностей г. Белгорода, влияющих на планировочную структуру города и анализ водосберегающих решений в схожих условиях на основе анализа мировой практики.

Основная часть. Вопрос управления водными ресурсами всегда был противоречивым. С одной стороны, вода воспринимается как основной, дающий жизнь ресурс, с другой – как источник угроз, будь то вспышки заболеваний или стихийные бедствия, такие как наводнения и подтопления [8]. Проекты в области водосберегающего проектирования поддерживают переход парадигмы управления городскими водными ресурсами от крупных централизованных технических решений к более комплексному подходу, примером которого являются многоцелевые системы зеленой инфраструктуры, которые повышают удобство проживания в городах, устойчивость и качество жизни. Внедрение данных систем в градостроительную практику направлено на имитацию естественных гидрологических процессов в городских условиях и одновременно на предоставление дополнительных городских услуг, таких как рекреация и улучшение качества жизни. Основные цели водосберегающего проектирования включают:

1. укрепление водно-зеленого каркаса города, создание связей между его структурными элементами;
2. поддержание водного баланса в городской среде;
3. улучшение качества воды с помощью фильтрации и/или удержания;
4. уменьшение стока дождевых и талых вод, а также пиковых стоков за счёт использования мероприятий по транспортировке и удержанию воды на месте, а также увеличения площади водопроницаемых поверхностей;
5. снижение необходимости в расширении дренажной сети и связанных с ней затрат при одновременном увеличении местного повторного использования воды;
6. интеграцию системы управления поверхностным стоком в городской ландшафт через проектирование multifunctional инфраструктуры, которая улучшает визуальную эстетику и рекреационные возможности городских районов.

Зелёная инфраструктура является одним из ключевых направлений в новом подходе к комплексному градостроительному проектированию и управлению водными ресурсами в городах как во влажных, так и засушливых. Для реализации данного подхода и эффективного решения вопросов водосбережения приоритетное значение имеют архитектурно-градостроительные инструменты, поскольку именно они обеспечивают стратегическое формирование водно-зеленого каркаса города, решая планировочные, функциональные и эстетические вопросы. Именно использование архитектурно-градостроительных инструментов позволяет в полной мере работать над улучшением качества и повышением комфорта городской среды и оптимально интегрировать зеленую инфраструктуру в городскую ткань.

Традиционные модели планировочной организации городской застройки зачастую не учитывают индивидуальные особенности территорий и локальные условия, что ограничивает возможность их адаптации к специфическим местным характеристикам. Однако именно учет этих факторов является критически важным для создания устойчивых и гармоничных градостроительных решений. Грамотное использование природных условий позволяет архитекторам разрабатывать объемно-планировочные концепции и решения, направленные на обеспечение экологического баланса, устойчивой инженерной подготовки территории и минимизацию негативных последствий климатических изменений. Поэтому для достижения устойчивости и минимизации рисков важно учитывать региональные климатические особенности при проектировании и эксплуатации городских территорий. В данной статье исследуется город Белгород.

Белгород характеризуется влажным умеренно-континентальным климатом, формирующимся под влиянием Атлантического океана. Эта климатическая особенность создает выраженные сезонные различия. Зима в регионе относительно мягкая, чередующаяся снегопадами и оттепелями, а летний период отличается продолжительностью и теплотой. Весной наблюдаются резкие похолодания и осадки, вызванные атлантическими вторжениями. В летние месяцы на регион оказывает воздействие восточный перенос воздушных масс из раскаленных азиатских пустынь, что способствует установлению жаркой погоды, сопровождаемой засухами и суховеями. Среднегодовое количество осадков в Белгороде составляет около 550 мм, максимум которых выпадает на июнь-июль, а минимум – на февраль-март. Для более детального анализа климатических условий Белгорода были изучены показатели

среднегодовой температуры (рис. 1) и общего количества осадков (рис. 2).

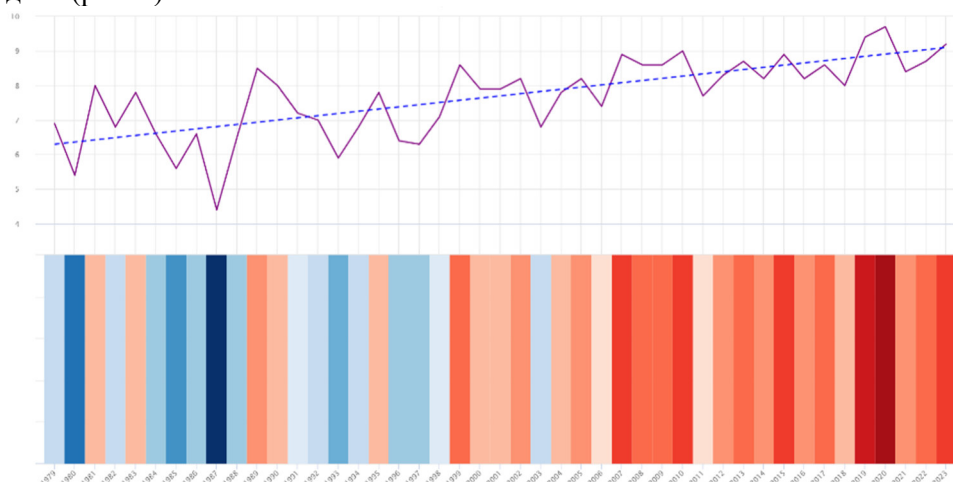


Рис. 1. Оценка среднегодовой температуры для г. Белгорода с 1979 по 2023 гг. [9]

На первом графике представлена динамика среднегодовой температуры за анализируемый период. Синяя пунктирная линия в верхней части иллюстрирует положительный тренд изменения температуры, указывая на постепенное потепление климата в Белгороде. Нижняя часть пред-

ставлена в виде цветowych полос, каждая из которых представляет среднюю температуру за год. Более холодные годы отмечены синим цветом, а более теплые – красным. Самым холодным зафиксированным годом стал 1987 с показателем 4,4°C, в то время как 2020 год стал рекордно теплым, со средней температурой 9,7°C.

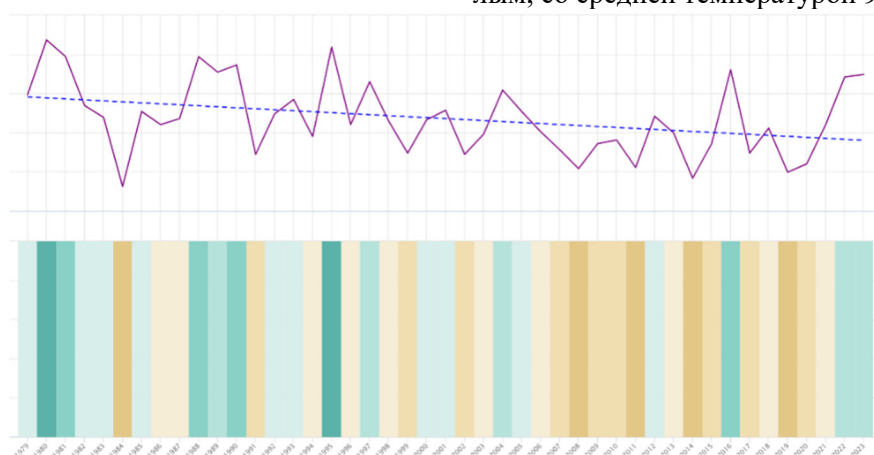


Рис. 2. Оценка общего количества осадков для г. Белгорода с 1979 по 2023 гг. [9]

На втором графике проанализировано годовое количество осадков. Пунктирная линия тренда показывает снижение средней влажности, что свидетельствует о постепенном увеличении засушливости климата в регионе. В нижней части графика представлена визуализация годового распределения осадков: зеленые полосы соответствуют наиболее влажным годам, а коричневые обозначают наиболее сухие периоды. Максимальный объем осадков зафиксирован в 1980 году и составил 836,5 мм, тогда как минимальный – в 2011 году, с показателем 511 мм.

Данный анализ демонстрирует ключевые изменения в климатической системе Белгорода, включая рост среднегодовой температуры и снижение уровня влажности, что требует внимания к

вопросам адаптации региона к изменяющимся климатическим условиям.

Помимо процессов изменения климата, Белгородская область относится к маловодным регионам Российской Федерации – только 0,45 % территории Белгородчины занимают ручьи, реки, пруды и водохранилища [10]. В третьем оценочном докладе об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации [11] можно найти следующую информацию: «Дефициты водных ресурсов для обеспечения нужд питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, усугубляющиеся в периоды малой водности, регулярно возникают в Республике Калмыкия, Белгородской и Курской областях, Ставропольском крае, отдельных районах Южного Урала и юга Сибири. Удельная водообеспеченность ЦФО

местными и общими водными ресурсами является низкой. Водообеспеченность местными водными ресурсами за период 1978–2020 гг. снижается в Белгородской, Брянской, Владимирской, Воронежской, Тамбовской и Тульской областях. Сток большинства рек ЦФО в зимний и летне-осенний периоды увеличился, соответственно, на 50–100 % и 25–50 %, а сток в период весеннего сезона снизился на 20–40 %».

Несмотря на приведенные показатели, одной из наиболее актуальных проблем Белгорода остается состояние системы ливневой канализации. Летние вспышки проливных дождей свидетельствуют о том, что существующая система ливневой канализации не справляется с объемом дождевых вод. Существующая инфраструктура не соответствует современным стандартам и требует незамедлительной модернизации в широком масштабе. Также с ростом городского населения и увеличением плотности застройки наблюдается активное возведение новых жилых районов, общественных центров и культурных объектов с

увеличением площадей непроницаемых поверхностей, что только способствует увеличению нагрузки на ливневую систему. Восстановление и развитие зеленой инфраструктуры в городах, объединяемое концепцией ландшафтного урбанизма [12], предполагает воспроизводство природных компонентов в условиях плотной урбанизированной среды, что, в свою очередь, и требует сложившаяся ситуация в исследуемом городе.

Чтобы сформировать перечень необходимых инструментов для управления поверхностным стоком в Белгороде, был проведен комплексный анализ городской среды и выявлены экологические риски, связанные с водными ресурсами (рис. 3). В городе существуют две общие проблемы, связанные с водными ресурсами: дефицит воды и водная безопасность. В ходе анализа каждой из проблем были выявлены характерные экологические риски и их последствия:

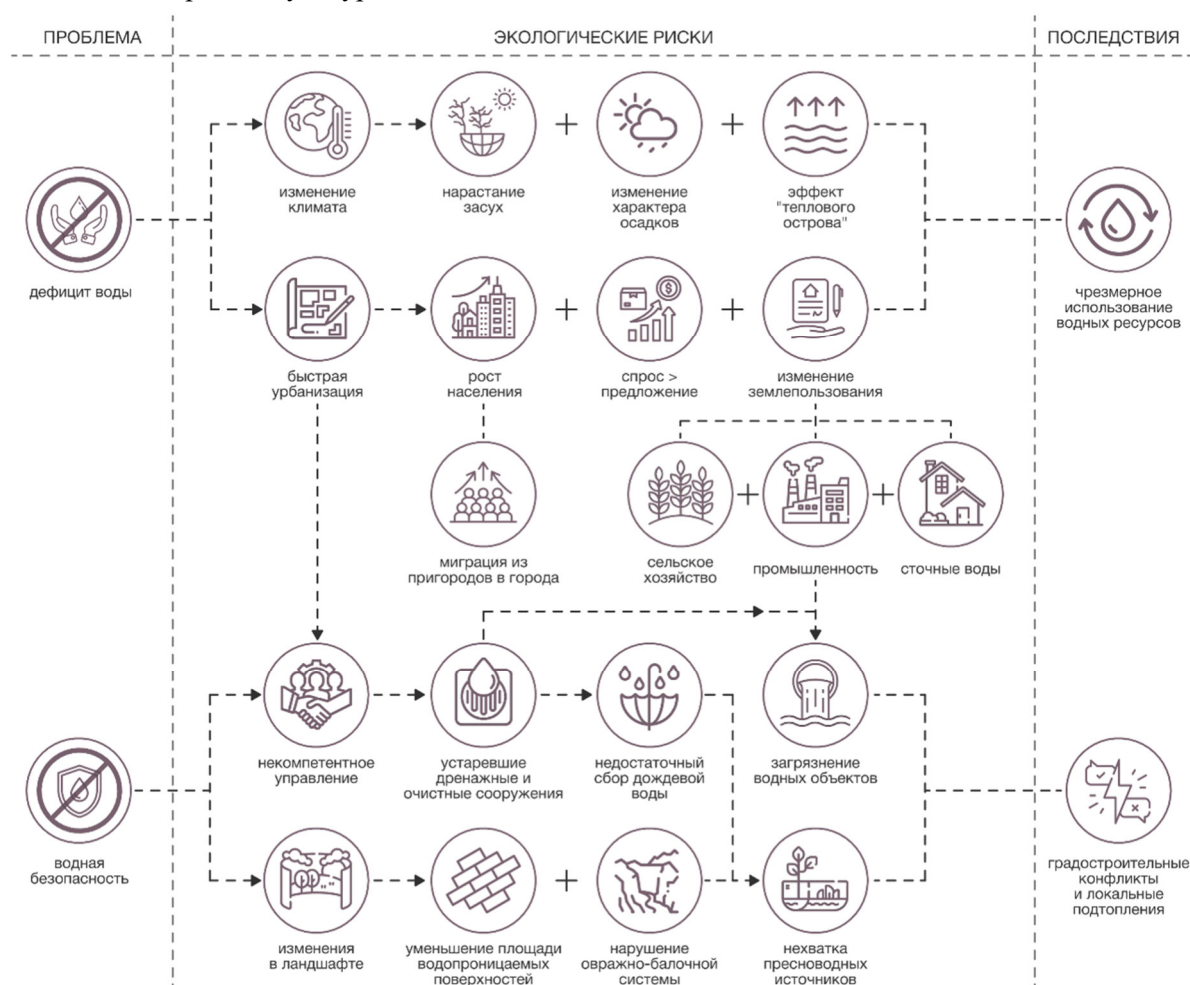


Рис. 3. Схема экологических рисков, связанных с водными ресурсами, в г. Белгороде.

Разраб. Дубино А.М.

Проблема дефицита воды:

Риски:

1.1. Изменение климата:

- нарастание засух;
- изменение характера выпада осадков;

– повышение температуры в городе (эффект «теплового острова»);

1.2. Быстрая урбанизация:

– рост населения;

– спрос превышает предложение (используемые объемы пресной воды значительно превышают доступные ресурсы, что приводит к их истощению и ухудшению качества);

– изменение землепользования (сокращение площадей естественных водопроницаемых территорий и их замещение застроенными территориями, сельхозугодьями и промышленными зонами, что снижает естественную фильтрацию и накопление воды);

– нехватка пресноводных источников.

Последствия: чрезмерное использование водных ресурсов.

2. Проблема водной безопасности:

Риски:

2.1. Некомпетентное управление:

– устаревшие и неэффективные дренажные и очистные системы (как следствие: недостаточный сбор дождевой воды с одной стороны и загрязнение водных ресурсов с другой).

2.2. Изменения в ландшафте:

– уменьшение площади водопроницаемых поверхностей в городе;

– нарушение овражно-балочной системы (преобразование в мусорные свалки и, как следствие, загрязнение грунтовых вод и водоёмов; появление ливнеотоков и промоин).

Последствия: градостроительные конфликты и локальные подтопления.

Повышение устойчивости среды становится реально достижимой целью в условиях научно-

обоснованной архитектурно-ландшафтной реконструкции территории города, так как в этом случае может осуществляться экологически позитивная замена одних, нарушенных компонентов ландшафта, другими, компенсирующими с дополнительным потенциалом [13]. Внедрение в городскую среду элементов зеленой инфраструктуры для управления поверхностным стоком – водосберегающих технологий – поможет минимизировать и в каких-то случаях даже устранить последствия возникающих экологических рисков. Водосберегающие технологии представляют собой совокупность инженерных и планировочных решений, направленных на снижение потребления воды, ее повторное использование и минимизацию потерь. Они могут различаться в зависимости от планировочных структур и типов ландшафтов. В связи с этим следует классифицировать различные городские пространства по типам, что будет являться отправной точкой для последующего подбора подходящих инструментов по оптимизации использования и сохранения водных ресурсов. Типология городских пространств, предложенная в исследовании, основана на классификации, содержащейся в Правилах землепользования и застройки г. Белгорода [14], и включает в себя: жилые пространства, общественные пространства, пространства транспортной и инженерной инфраструктуры, производственные пространства, природные пространства и рекреационные пространства. В приведенной ниже таблице можно ознакомиться с описанием каждого из перечисленных типов пространств (табл. 1).

Таблица 1

Типология пространств для внедрения водосберегающих технологий

Типы пространств	Описание
Жилые пространства	зона многоэтажной жилой застройки, зона среднеэтажной жилой застройки, зона сблокированной коттеджной застройки, зона жилой застройки индивидуальными домами коттеджного типа с приусадебными участками
Общественные пространства	высокая плотность застройки с преобладанием объектов деловой, общественной и культурной активности, включая административные, научно-исследовательские учреждения и организации, объекты предпринимательской деятельности, учреждения здравоохранения, образования, торговли, спорта
Зоны транспортной инфраструктуры	объекты улично-дорожной сети, включающие магистральные дороги и улицы, улицы и дороги местного значения, проезды, пешеходные улицы, мосты, развязки, выделенные пешеходные, велосипедные, велопешеходные дорожки, парковки
Производственные зоны	промышленные территории с высокой степенью искусственного покрытия
Природные пространства	природные территории с минимальным вмешательством человека: овраги, балки, крутые склоны, пойменные луга, овражные тальвеги, болота, а также территории нарушенного ландшафта – бывшие карьеры и изрытости, требующие рекультивации
Рекреационные пространства	территории парков, скверов, бульваров, садов, городских лесов, лесопарков, пляжей, небольшие спортивные и игровые площадки, территории детского отдыха, ботанический сад, зоопарк, особо охраняемые природные территории (ООПТ)

Способы рационального управления дождевой водой всё еще не до конца изучены и не широко применяются в отечественной практике. Определенные инструменты водосберегающего проектирования поддерживают широкий спектр процессов. В рамках данного исследования был сформирован набор методов, который обобщает мировой опыт рационального управления дождевой водой (рис. 4). В зависимости от первоначальной задачи, представленные методы позволяют ориентироваться в выборе инструментов для достижения конечной цели.

методы водосберегающего проектирования



Рис. 4. Классификация методов водосберегающего проектирования. Разраб. Дубино А.М.

Далее на основе представленной классификации выделим наиболее эффективные инструменты водосбережения, подходящие для климатических особенностей, а также масштабов города Белгорода. В Белгороде наблюдается рост среднегодовой температуры и сокращение количества осадков при увеличении интенсивности ливней, в связи с чем ключевыми задачами становятся эффективное управление резкими всплесками осадков (снижение риска подтоплений за счет равномерного распределения воды) и обеспечение максимального сохранения водных ресурсов. Таким образом, комбинированный подход с уклоном на инфильтрацию и хранение воды будет оптимальным для Белгорода.

Говоря о контроле качества воды, для Белгорода можно выделить следующие инструменты: дождевые сады, водопроницаемые покрытия, биодренажные канавы (биосвэйлы), водно-болотные угодья. Рассмотрим их более подробно.

Для обоснования выбора инструментов водосбережения необходимо учитывать функциональную нагрузку каждого типа городского пространства, а также конкретные задачи по оптимизации водного цикла на том или ином участке. Инструменты водосберегающего проектирования, основанные на методах контроля качества и количества воды, могут эффективно интегрироваться в различные типы городской застройки.

Дождевые сады. Небольшие по площади понижения в рельефе (глубиной около 15 см), предназначенные для сбора, дальнейшей фильтрации и инфильтрации дождевой воды с кровли зданий, дорог и других участков с водонепроницаемым покрытием. Ассортимент дождевого сада должен быть представлен местными видами с широкой экологической амплитудой по отношению к водному режиму, устойчивым к временному затоплению и способным переносить пересыхание [15].

Водопроницаемые покрытия. Представляют собой принцип использования пропускающих воду и воздух материалов для мощения тротуаров, дорог, велосипедных дорожек и автостоянок с целью их дренажа [16]. Данный тип покрытия позволяет осадкам просачиваться в нижележащее основание резервуара, где осадки либо проникают в почву, либо удаляются с помощью подземного дренажа [17]. Примерами проницаемых

покрытий могут быть пористый асфальт, пористый бетон, твёрдые модульные покрытия со швами, газонные решётки, гравийные покрытия, травянистые покрытия и др.

Биодренажные канавы (биосвэйлы). Представляют собой важный элемент инженерной подготовки территории. Эти линейные структуры интегрируются в ландшафт с целью обработки поверхностного стока, содержащего высокий уровень загрязняющих веществ. Конструкция канав включает несколько функциональных слоев: верхний, покрытый растительностью и песчаным субстратом, задерживает твердые частицы и снижает скорость потока воды, обеспечивая первичную фильтрацию. Под этим слоем располагается геотекстиль, предотвращающий миграцию мелких фракций в дренажный слой, который состоит из гравия или щебня и обеспечивает глубокую инфильтрацию очищенной воды в грунт. Очищенные излишки воды, дренировавшей по слоям, направляются в водосточные трубы, ведущие в ливневую канализацию [18].

Водно-болотные угодья. Богатые водой природные территории, расположенные в основном вдоль рек и дельт. Являются ключевыми элементами гидрологического цикла, выполняя роль естественных буферов для дождевой воды. Они обеспечивают среду обитания для многих насекомых и птиц. Современные подходы к проектированию водно-болотных угодий направлены на задержание части поверхностного стока и снижение скорости его выведения. Дополнительным преимуществом является очистка стока за счет осаждения загрязняющих веществ и их поглощения растительностью, что значительно улучшает его качество и снижает экологические риски.

Контроль количества воды включает методы, направленные на управление объемами и потоками дождевой воды. В рамках эффективного контроля количества воды в Белгороде следует использовать следующие инструменты: зеленые кровли, зеленые фасады, водные площади, ливневые посадочные системы для деревьев, удерживающие пруды.

Зеленые кровли. Представляют собой кровельные системы, покрытые растительным слоем. В зависимости от способа озеленения и возможностей эксплуатации они подразделяются на экстенсивные (с небольшим слоем почвы и засухоустойчивыми растениями) и интенсивные (с глубоким слоем почвы, подходящим для кустарников и даже деревьев).

Зеленые фасады. Представляют собой вертикальные конструкции, на которых выращиваются вьющиеся растения или мхи. Они могут быть основаны на природной почве или осна-

щены системами автоматического полива и питания. Зеленые фасады помогают регулировать температурный режим, уменьшают, поглощают лишнюю влагу, способствуют сохранению биоразнообразия, а также выполняют эстетическую функцию.

Водные площади. Водная площадь служит бассейном для сбора и хранения воды во время сильных дождей, защищая окружающую территорию от затоплений. Хранение воды является временным, и после дождя ее можно слить или частично сохранить и отфильтровать для локального повторного использования (например, в фонтане). В более засушливые периоды перепады высот в виде амфитеатра, который помогает в удержании воды, используются как рекреационная зона для жителей города [19].

Ливневые посадочные системы для деревьев. Представляет собой подземное инженерное сооружение, состоящее из дерева, посаженного в яму из сборного бетона [20]. Конструкция включает в себя комбинацию слоев фильтрующей среды, которая позволяет ливневой воде медленно проникать с поверхности к подземным дренажным трубам. Оттуда очищенная вода поступает в традиционную систему ливневой канализации. Данная система отличается от стандартных посадочных ям для деревьев увеличенной емкостью для приема поверхностного стока. Основные преимущества включают снижение объемов стока, ускорение роста деревьев за счет оптимального водообеспечения, улучшение дренажа, а также очистку воды от загрязнителей благодаря деятельности микроорганизмов в субстрате.

Удерживающие пруды (временные и постоянные). Постоянные удерживающие пруды – это искусственные водоемы, которые постоянно содержат воду. Они собирают дождевые стоки и удерживают их, обеспечивая процесс естественной фильтрации перед тем, как вода просачивается в почву или сбрасывается в окружающую среду. Временные удерживающие пруды представляют собой пруды, предназначенные для временного удержания дождевой воды. Их главная цель – регулирование пикового стока во время сильных осадков. После дождя вода постепенно сбрасывается в ливневую или природную водную систему.

Перечисленные инструменты управления дождевыми водами могут применяться как самостоятельно, так и в комбинации с другими инструментами, что максимизирует эффективность всей системы в рамках комплексной реконструкции городской среды.

Для адаптации городской инфраструктуры Белгорода водосберегающие технологии необходимо внедрять с учетом специфики различных типов городских пространств. Разработанная в рамках данной статьи классификация методов водосберегающего проектирования и предложенный перечень инструментов, а также составленная типология пространств города Белгорода могут стать основой для формирования моделей пространственной организации каждого из типов городских пространств. К примеру, в модель пространственной организации жилых пространствах Белгорода целесообразно включить инструменты, направленные на снижение объема стока с крыш и дворовых территорий. Зеленые кровли обеспечат задержание и испарение воды, одновременно улучшая теплоизоляцию зданий. Зеленые фасады снизят нагрузку на системы водоотведения, поглотив часть осадков, и улучшат

микроклимат. На придомовых территориях можно организовать дождевые сады и использовать водопроницаемые покрытия, способствующие инфильтрации воды в почву и предотвращающие ее быстрый отток в ливневую систему. Дождевые сады также могут стать яркими ландшафтными акцентами, которые будут формировать уникальную визуальную идентичность территории, адаптированную под потребности и запросы городской среды, усиливая эстетическую и экологическую привлекательность пространства. Зоны транспортной инфраструктуры, например, характеризуются высоким уровнем непроницаемости поверхности. Для снижения стока и фильтрации загрязнений в этих зонах применяются водопроницаемые покрытия, а также биодренажные каналы, которые эффективно направляют и очищают ливневую воду.

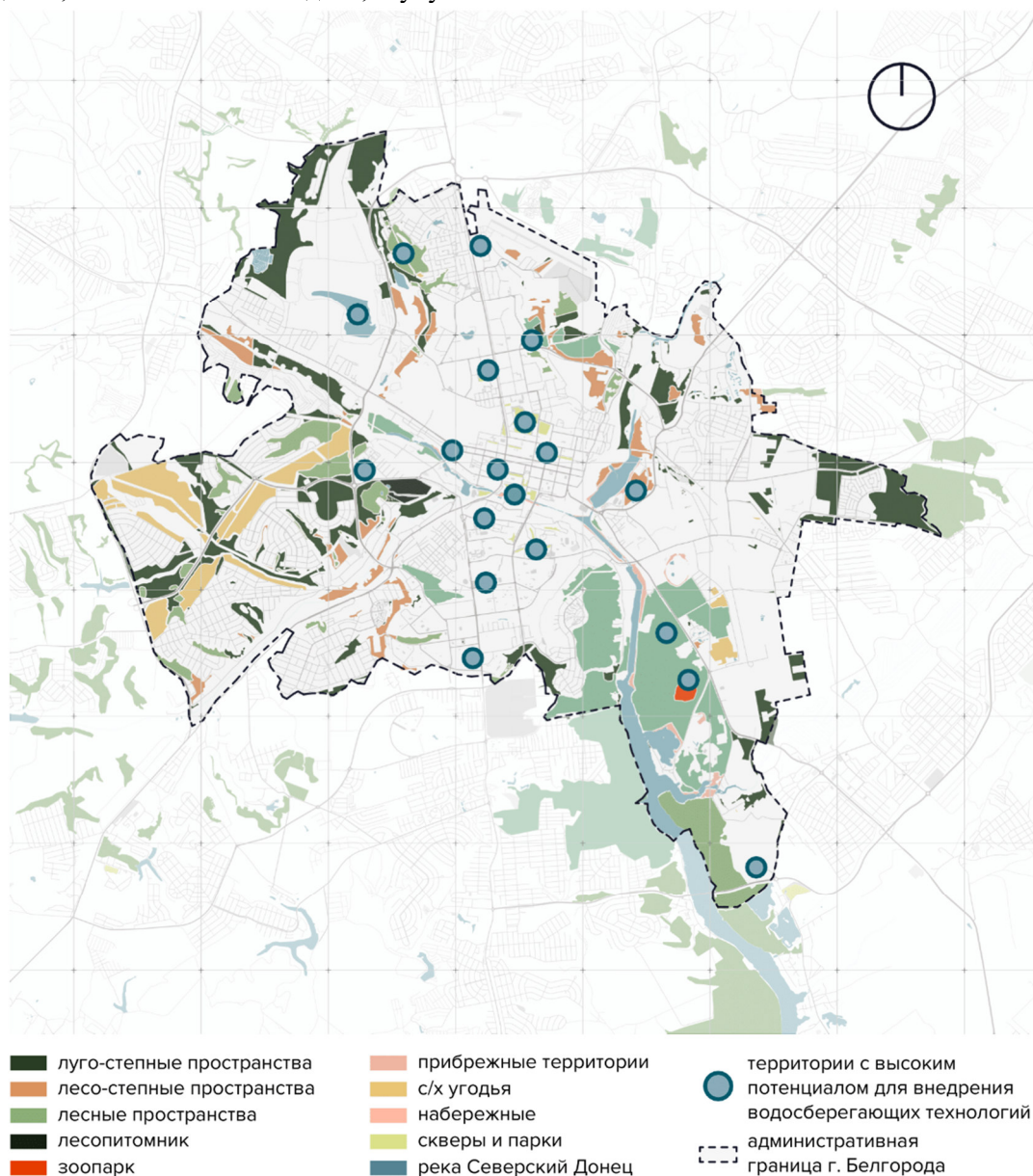


Рис. 5. Схема водно-зеленого каркаса Белгорода с территориями, благоприятными для внедрения водосберегающих технологий. Разраб. Дубино А.М.

В рамках данного исследования были определены ключевые территории города Белгорода, которые обладают высоким потенциалом для внедрения водосберегающих технологий (рис. 5). Участки были выделены на основе анализа городской инфраструктуры и ландшафтных особенностей и включают в себя следующие территории:

1. Территории, подверженные частым подтоплениям, к которым относятся участки городской среды, находящиеся в зонах с низким уровнем, где наблюдается затопление при сильных осадках.

2. Озелененные территории различного назначения (лесопарки, парки, скверы и бульвары), которые выполняют не только рекреационную функцию, но и играют роль в формировании водно-зеленого каркаса города.

3. Зоны с высокой плотностью застройки, где застройка препятствует внедрению традиционных решений по водоотведению, но возможно применение инновационных и более гибких методов для эффективного управления водными ресурсами.

4. Территории с высокой пешеходной и транспортной нагрузкой, которые характеризуются высокой концентрацией социальных и коммерческих объектов, таких как университетские кампусы, торгово-развлекательные комплексы, транспортные узлы и другие важные общественные пространства.

Выделенные участки могут быть рассмотрены в качестве пилотных территорий для апробации и адаптации водосберегающих решений в городской среде Белгорода. Их интеграция в градостроительное развитие позволит сформировать комплексный подход к управлению поверхностным стоком, повысить климатическую устойчивость городской инфраструктуры и создать прецеденты для разработки эффективных моделей пространственной организации различных типов городских территорий.

Выводы. Для обеспечения устойчивого развития городских территорий и укрепления водно-зеленого каркаса Белгорода требуется пересмотр традиционных методов планирования посредством совершенствования дренажной инфраструктуры и внедрения водосберегающих технологий. Это позволит более эффективно справляться с изменениями интенсивности осадков и минимизировать их негативные последствия для городской среды.

В рамках данного исследования были получены следующие результаты:

1. Проведен комплексный анализ климатических условий и городской среды Белгорода и

составлена схема экологических рисков, связанных с водными ресурсами, и их последствий. В ходе анализа выявлены две общие проблемы, характерные для исследуемого города: дефицит воды и водная безопасность.

2. Предложена типология городских пространств для внедрения водосберегающих технологий, в которой были выделены: жилые пространства, общественные пространства, зоны транспортной инфраструктуры, производственные зоны, природные пространства, рекреационные пространства. Данная типология послужит основой для дальнейших исследований и разработки типологических моделей пространственной организации городских пространств.

3. Составлена классификация методов водосбережения, разделенных на две категории: методы контроля качества и методы контроля количества воды. На основе представленной классификации были выделены наиболее эффективные инструменты водосбережения, подходящие для климатических особенностей и масштабов города Белгорода. Для контроля качества рекомендуется использовать дождевые сады, водопроницаемые покрытия, биодренажные канавы и водно-болотные угодья. Для контроля количества воды предлагаются зеленые кровли, зеленые фасады, водные площади, ливневые посадочные системы для деревьев и удерживающие пруды.

4. Разработана карта территорий с высоким потенциалом для внедрения водосберегающих технологий, которая может стать отправной точкой для реализации мероприятий по совершенствованию управления водными ресурсами в Белгороде и укреплению водно-зеленого каркаса.

Таким образом, интеграция водосберегающих технологий в градостроительную практику позволяет создавать гибкие и экологически устойчивые ландшафты, которые играют важную роль в укреплении водно-зеленого каркаса города. Применение подобных подходов улучшает управление водными потоками, способствует восстановлению зеленых зон и позволяет интегрировать водные элементы в структуру городской среды. В результате формируется более здоровая и устойчивая городская экосистема, способная адаптироваться к вызовам современности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубино А.М., Перькова М.В. Формирование природно-экологического каркаса г. Белгорода // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 2. С. 167–179. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.2.167-179.

2. Дубино А.М., Перькова М.В. Анализ зарубежного опыта водосберегающего проектирования городских территорий // Техническая эстетика и дизайн-исследования. 2021. Т. 3. № 3. С. 24–33. DOI: 10.34031/2687-0878-2021-3-3-24-33.
3. Chernokulsky A., Kozlov F., Zolina O., Bulygina O., Mokhov I., Semenov V. Observed changes in convective and stratiform precipitation in Northern Eurasia over the last five decades // Environmental Research Letters. 2019. Vol. 14. No. 4. DOI: 10.1088/1748-9326/aafb82.
4. Зайкова Е.Ю., Феофанова С.С. Водочувствительный дизайн городской среды: города-губки и «умные» ландшафты // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 4. С. 499–514. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.4.499-514.
5. Тиганова И.А. Благоустройство городских территорий с учетом водного баланса техногенного ландшафта: дис. ... канд. арх. наук: 05.23.22. Екатеринбург, 2016. 141 с.
6. Правительство Белгородской области. Постановление от 11 июля 2023 года N 371-пп Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Белгородской области на период до 2030 года. URL: <https://docs.cntd.ru/document/406733192> (дата обращения: 09.12.2024).
7. Правительство Белгородской области. Постановление от 25 декабря 2023 года N 792-пп Об утверждении государственной программы Белгородской области «Развитие водного и лесного хозяйства Белгородской области, охрана окружающей среды». URL: <https://docs.cntd.ru/document/407052664?marker=64U0IK> (дата обращения 09.12.2024).
8. Wong T., Brown R. The water sensitive city: Principles for practice // Water Science and Technology. 2009. Vol. 2. No. 60. Pp. 673–682. DOI: 10.2166/wst.2009.436.
9. Изменения климата Белгород // Meteoblue 2023. URL: https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Белгород_Россия_578072?month=10 (дата обращения 09.12.2024).
10. Дубино А.М., Перькова М.В. Выявление и классификация градостроительных конфликтов при использовании водных ресурсов в г. Белгороде // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 12. С. 54–62. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-54-62.
11. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – СПб.: Научные технологии, 2022. 124 с.
12. Красильникова Э.Э. Ландшафтный урбанизм. Теория-Практика. Часть 1. Научные и практические основы ландшафтного урбанизма. Волгоград : Областные Вести, 2015. 156 с.
13. Нефедов В.А. Архитектурно-ландшафтная реконструкция как средство оптимизации городской среды: автореф. дис. ... докт. Арх.: 18.00.04. СПб., 2005. 44 с.
14. Правила землепользования и застройки городского округа г. Белгород. URL: https://belgorod-r31.gosweb.gosuslugi.ru/deyatelnost/napravleniya-deyatelnosti/gradostroitelstvo/pravila-zemlepolzovaniya-i-zastroyki/dokumenty-5_1909.html (дата обращения 09.12.2024).
15. Ермохин А.А. Классификация технологий зелёной инфраструктуры и их использование для управления поверхностными стоками в урбанизированной среде // StudArctic forum. 2019. № 4 (16). С. 2–10.
16. Chu X., Campos-Guereta I., Dawson A., Thom N. Sustainable pavement drainage systems: Subgrade moisture, subsurface drainage methods and drainage effectiveness // Construction and Building Materials. 2023. Vol. 364. 129950. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129950.
17. Дубино А.М. Зелёная инфраструктура как инструмент управления поверхностным стоком // Колтуши – территория новых идей: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2024. С. 59–64. DOI: 10.18720/SPBPU/2/id24-365.
18. Woods Ballard T., Wilson S., Udale-Clarke H. and other. The SuDS Manual. London.: CIRIA, 2015. 937 p.
19. Abbott J., Davies P., Simkins P., Morgan C., Levin D., Robinson P. Creating Water Sensitive Places. London: CIRIA. 2013. Pp. 43–47.
20. Making Cities Liveable. Green-Blue Infrastructure and its Impact on Society. Ramboll, 2016. 18 p.

Информация об авторах

Дубино Анастасия Михайловна, аспирант кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: anastuzi@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 06.12.2024 г.

© Дубино А.М., 2025

Dubino A.M.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

E-mail: anastuzi@gmail.com

ADAPTING THE URBAN ENVIRONMENT OF BELGOROD TO CLIMATE CHANGE THROUGH WATER-SAVING TECHNOLOGIES

Abstract. In the context of climate change, the effective accumulation and redistribution of surface runoff are becoming increasingly critical in urban planning and land preparation. Modern urban development challenges necessitate the adoption of innovative methods for managing urbanization and adapting to shifting climatic conditions. Water conservation and the rational use of rainwater are particularly crucial for Belgorod, a water-scarce region, highlighting the importance of managing surface runoff to maintain hydrological balance. This article explores methods and tools for urban water management tailored to Belgorod's specific needs. Special attention is given to the relevance of surface runoff management amid rising temperatures and decreasing precipitation, coupled with increased storm intensity. The study analyzes Belgorod's climatic conditions, develops a framework for assessing ecological risks and their consequences, and proposes a typology of urban spaces for implementing water-saving technologies. These include residential, public, transportation and engineering infrastructure, industrial, natural, and recreational spaces. Key instruments for managing water quality and quantity in the city are identified, alongside a mapping of urban areas with high potential for introducing water-saving technologies. The findings provide a foundation for developing typological models of urban space organization from the perspective of water resource management and strengthening Belgorod's ecological framework.

Keywords: urban water management, water-saving technologies, green infrastructure, climate change, ecological risks, urban planning, urban spaces

REFERENCES

1. Dubino A.M., Perkova M.V. Formation of the ecological framework of Belgorod [Formirovanie prirodno-ekologicheskogo karkasa g. Belgoroda]. Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2025. 20(2). 167–179. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.2.167-179 (rus)
2. Dubino A.M., Perkova M.V. Analysis of foreign experience of water-saving design of urban areas [Analiz zarubezhnogo opyta vodosberegayushchego proektirovaniya gorodskih territorij] Technical Aesthetics and design research [Tekhnicheskaya estetika i dizajn-issledovaniya]. 2021. Vol. 3. No. 3. Pp. 24–33. DOI: 10.34031/2687-0878-2021-3-3-24-33. (rus)
3. Chernokulsky A., Kozlov F., Zolina O., Bulygina O., Mokhov I., Semenov V. Observed changes in convective and stratiform precipitation in Northern Eurasia over the last five decades. Environmental Research Letters. 2019. Vol. 14. No. 4. DOI: 10.1088/1748-9326/aafb82.
4. Zaykova E.Yu., Feofanova S.S. Water-sensitive urban design: sponge-cities and «smart» landscapes [Vodochuvstvitel'nyj dizajn gorodskoj sredy: goroda-gubki i «umnye» landshafty]. Vestnik MGSU. 2024. Vol. 19. No. 4. Pp. 499–514. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.4.499-514. (rus)
5. Tiganova I.A. Improvement of urban areas taking into account the water balance of the technogenic landscape: dis. ... candidate of Architectural Sciences: 05.23.22 [Blagoustrojstvo gorodskih territorij s uchetom vodnogo balansa tekhnogennogo landshafta: dis. ... kand. arh. nauk: 05.23.22]. Yekaterinburg, 2016. 141 p. (rus)
6. The Government of the Belgorod region. Resolution No. 371-pp dated July 11, 2023 On approval of the Strategy of socio-economic Development of the Belgorod Region for the period up to 2030 [Ob utverzhdenii Strategii social'no-ekonomicheskogo razvitiya Belgorodskoj oblasti na period do 2030 goda]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/406733192> (date of treatment: 09.12.2024). (rus)
7. The Government of the Belgorod region. Resolution No. 792-pp dated December 25, 2023 On approval of the State program of the Belgorod Region «Development of water and forestry of the Belgorod Region, environmental protection» [Ob utverzhdenii gosudarstvennoj programmy Belgorodskoj oblasti «Razvitie vodnogo i lesnogo hozyajstva Belgorodskoj oblasti, ohrana okruzhayushchej sredy»]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/407052664?marker=64U0IK> (date of treatment: 09.12.2024). (rus)
8. Wong T., Brown R. The water sensitive city: Principles for practice. Water Science and Technology. 2009. Vol. 2. No. 60. Pp. 673–682. DOI: 10.2166/wst.2009.436. DOI: 10.2166/wst.2009.436.
9. Climate change Belgorod. Meteoblue 2023. URL: https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Белгород_Россия_578072?month=10 (date of treatment: 09.12.2024).
10. Dubino A.M., Perkova M.V. Identification and classification of urban planning conflicts in the use of water resources in Belgorod [Vyyavlenie i

klassifikaciya gradostroitel'nyh konfliktov pri ispol'zovanii vodnyh resursov v g. Belgorode]. Bulletin of BSTU named after V.G. 2021. № 12. Pp. 54–62. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-54-62. (rus)

11. The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary [Tretij ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. Obshchee rezюме]. – St. Petersburg: High-tech technologies, 2022. 124 p. (rus)

12. Krasil'nikova E.E. Landscape Urbanism. Theory-Practice. Part 1. Scientific and Practical Foundations of Landscape Urbanism. Volgograd: Oblastnye Vesti, 2015. 156 p. (rus)

13. Nefyodov V.A. Architectural and landscape reconstruction as a means of optimizing the urban environment: abstract... Doct. Arch.: 18.00.04. [Arhitekturno-landshaftnaya rekonstrukciya kak sredstvo optimizacii gorodskoj sredy: avtoref. dis. ... dokt. Arh.]. St. Petersburg, 2005. 44 p. (rus)

14. Rules of land use and development of the Belgorod city district [Pravila zemlepol'zovaniya i zastroyki gorodskogo okruga g. Belgorod]. URL: https://belgorod-r31.gosweb.gosuslugi.ru/deyatelnost/napravleniya-deyatelnosti/gradostroitelstvo/pravila-zemlepol-zovaniya-i-zastroyki/dokumenty-5_1909.html (date of treatment: 09.12.2024). (rus)

15. Ermokhin A.A. Classification of green infrastructure technologies and their use for surface runoff management in an urbanized environment [Klassifikaciya tekhnologij zelyonoj infrastruktury i ih ispol'zovanie dlya upravleniya poverhnostnymi stokami v urbanizirovannoj srede]. StudArctic forum. No. 4 (16), 2019. Pp. 2–10. (rus)

16. Chu X., Campos-Guereta I., Dawson A., Thom N. Sustainable pavement drainage systems: Subgrade moisture, subsurface drainage methods and drainage effectiveness. Construction and Building Materials. 2023. Vol. 364. 129950. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129950.

17. Dubino A.M. Green infrastructure as a tool for surface runoff management [Zelyonaya infrastruktura kak instrument upravleniya poverhnostnym stokom]. Koltushi-the territory of new ideas: collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference. St. Petersburg: Polytech Press, 2024. Pp. 59–64. DOI: 10.18720/SPBPU/2/id24-365. (rus)

18. Woods Ballard T., Wilson S., Udale-Clarke H. and other. The SuDS Manual. London.: CIRIA, 2015. 937 p.

19. Abbott J., Davies P., Simkins P., Morgan C., Levin D., Robinson P. Creating Water Sensitive Places. London: CIRIA. 2013. Pp. 43–47.

20. Making Cities Liveable. Green-Blue Infrastructure and its Impact on Society. Ramboll, 2016. 18 p.

Information about the authors

Dubino, Anastasia M. Postgraduate student. E-mail: anastuzi@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 06.12.2024

Для цитирования:

Дубино А.М. Адаптация городской среды Белгорода к климатическим изменениям с помощью водосберегающих технологий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 6. С. 50–62. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-6-50-62

For citation:

Dubino A.M. Adapting the urban environment of Belgorod to climate change through water-saving technologies. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 6. Pp. 50–62. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-6-50-62