

Рассмотрена трансформация качества городской среды путем природно-рекреационной ревитализации территорий городских очистных сооружений. Предложены концепция развития инженерных систем и комплексный подход, которые могут способствовать интенсивной рекреации и формированию новых городских ландшафтов, созданию полноценной среды, где инженерные системы выступают инструментом оживления и восстановления городского пространства. Рассмотрены опыт функционирования элементов городских очистных комплексов и условия формирования урбанизированного пространства, гармонично взаимодействующего с окружающей средой.

Ключевые слова: инженерные системы; ревитализация; очистные сооружения; биосферосовместимые технологии. /

This article examines the transformation of the urban environment through natural and recreational revitalization of urban wastewater treatment plant sites. It proposes a concept and integrated approach to developing engineering systems that can facilitate intensive recreation and the formation of new urban landscapes, creating a fully functional environment where engineering systems serve as a tool for the recreation, revitalization, and restoration of urban space. The article also examines the operational experience of urban wastewater treatment plant components and the conditions for creating an urbanized space that harmoniously interacts with the surrounding environment.

Keywords: engineering systems; revitalization; treatment facilities; biosphere-compatible technologies.

Ревитализация территорий очистных сооружений / Revitalization of wastewater treatment facilities

текст

Наталья Бакаева

Национальный
исследовательский
Московский
государственный
строительный университет

Павел Слепнев

Национальный
исследовательский
Московский
государственный
строительный университет
text

Natalya Bakayeva

National Research Moscow
State University of Civil
Engineering

Pavel Slepnev

National Research Moscow
State University of Civil
Engineering

Введение

Процесс урбанизации происходит во всем мире, причем темпы ее стремительно растут: уже больше половины человечества живет в городах, а город – это в первую очередь инфраструктурные сети [1]. Суммарная площадь городов составляет около 3% площади земной суши, но это качественно другое пространство – пространство, пронизанное сетями [2]. Сети города становятся основным элементом, носителем и началом любых городских инноваций [3]. Стратегическое и оперативное городское планирование инженерных сетей, оптимальных как по капитальным и эксплуатационным затратам, так и по воздействию на окружающую среду, включая природную и социальную, становится необходимым условием создания комфортной городской среды [4]. Задача эта чрезвычайно актуальна для города, при этом сложная и не имеющая однозначного решения.

Инженерные сети представляют собой целостную систему, сформировавшуюся в результате длительного эволюционного взаимодействия природы и человека, его социокультурной и хозяйственной деятельности. Отвечая на вопрос: что же необходимо для обеспечения высокого качества городской среды и проектирования оптимальных инженерных систем, обратимся к истории.

Первые системы для доставки воды, в основном для орошения, возникли в Месопотамии и Египте в IV тысячелетии до н. э. Первым крупным инженерным прорывом можно считать прототип акведука, построенный ассирийским царем Синаххерибом (Санхерибом) для Ниневии около 700 года до н. э. Его акведук в Джерване считается первым в мире каменным водопроводным мостом. Первая устойчивая централизованная система была создана в Древнем Риме. Ее символом стал Аква-Аппия, построенный в 312 году до н. э., первый из 11 акведуков, снабжавших город на протяжении 500 лет.

Примитивные системы отвода стоков появились в Вавилоне и Уруке около 4000–3200 годов до н. э. Но самые ранние из известных археологам сложных систем были обнаружены в городе Мохенджо-Даро (около 2600 года до н. э.), где практически каждый дом был подключен к подземной сети из обожженного кирпича. Первая

устойчивая централизованная система была создана в Древнем Риме примерно в VI веке до н. э. с началом строительства Великой Клоаки (Cloaca Maxima). Изначально она осушала болота, а затем превратилась в крытый коллектор для всего города, частично функционирующий до сих пор.

Первые прототипы дренажа (канавы для отвода воды) использовались в древней Месопотамии, Египте и у мinoisцев. Первое описание систематического применения дренажа оставил римский писатель Катон Старший в трактате «О земледелии» (I век до н. э.). Это доказывает, что в Древнем Риме дренаж использовался как продуманная инженерная система на регулярной основе.

Первые попытки осветить улицы предприняли древние греки около 2500 лет назад, устанавливая на треножниках чаши с горящим маслом. В Антиохии таким образом освещались даже переулочки. Первая система уличного освещения в современном понимании была создана Яном ван дер Хейдемом в Амстердаме в 1669 году. Его масляные фонари оказались настолько удачными, что система просуществовала до 1840 года и была принята за образец по всей Европе.

Первая в мире система центрального отопления, гипокауст, была изобретена в Древней Греции примерно в III веке до н. э. и изначально применялась в банях. Усовершенствовал и активно внедрял гипокауст в Древнем Риме с I века до н. э. предприниматель-инженер Гай Сергей Ората. Эта система обеспечивала равномерный прогрев пола и стен и использовалась в термах и богатых виллах.

Инженерные системы как часть коммунальной системы городского хозяйства сегодня охватывают все сферы жизнедеятельности городов, определяя условия жизни людей и качество городской среды. Инженерные сети, как и все инженерные сооружения, морально устаревают, физически изнашиваются, при этом оказывая прямое и косвенное негативное воздействие на природные комплексы и окружающую среду [5].

Прямое воздействие – это выбросы в атмосферу и сбросы в водные бассейны, загрязнение почвы, потери ресурсов и энергии при транспортировке. Косвенное воздействие – это потребление ресурсов и энергии, производство которых сопровождается загрязнением

природной среды, а также изменением ландшафта, геологического строения, перекрытием естественных водотоков. Так, например, специалисты Мосводоканал-НИИпроект выделяют следующие причины загрязнения водных ресурсов города и затопления участков территории города вследствие функционирования инженерных сетей: ошибки проектировщиков в расчете водосточной сети при застройке новых микрорайонов города; сверхнормативные утечки в водопроводной и тепловых сетях; несанкционированная застройка прибрежных территорий и произвольное изменение русла предприятиями, расположенными по берегам рек; ошибки в проектировании дорожной сети; недостаточная пропускная способность переходных труб под дорогами и железнодорожными путями; ошибки при проектировании коллекторов; засорение водосточной сети строительными и другими видами отходов [6].

Для того чтобы избежать ошибок в проектировании городской инженерной инфраструктуры, чрезвычайно важно научиться формализованными способами оценивать ее воздействие на качество городской среды. В связи с этим одновременно с развитием технологий постоянно совершенствуются и сами системы. Например, создаются новые виды инженерных систем, такие как сбор и переработка снега с городских магистралей [7], устройства открытого дренажа в условиях города [8] и др. Изменение одной системы, как правило, влечет за собой качественно новую трансформацию сопряженных с ней иных инженерных систем. Что особенно важно, модернизация их технологическими средствами способствует восстановлению наземного ландшафта через их интеграцию в проекты, направленные на качественное преобразование территорий, сохранению средо- и ресурсовоспроизводящей способности ландшафтов и поддержанию природных территорий в состоянии устойчивости [9].

Как уже было отмечено, сложная экологическая ситуация во многих городах России зачастую вызвана высоким уровнем загрязнения прежде всего водных ресурсов. Особый интерес в этом контексте представляют городские очистные сооружения – объекты, традиционно ассоциирующиеся с неприятными запахами, шумом и зоной отчуждения.

Очистные сооружения не точечные объекты, а огромные промышленные комплексы. Их суммарная площадь в структуре города настолько велика, что превращает проблему землепользования из инфраструктурной в градостроительную.

Площадь территории очистных сооружений напрямую зависит от проектной производительности, состава сооружений, применяемой технологии очистки и типа размещения. Выделяются следующие комплексы:

- объекты малой производительности (до 400 м³/сут) для отдельных кварталов, поселков или точечной застройки. Могут занимать всего 0,1–0,4 га. Иловые площадки добавляют еще 0,25–0,4 га, а биологические пруды глубокой очистки – от 3 га;

- объекты средней производительности (до 40000 м³/сут) для крупных городских районов. Размер участка таких сооружений составляет 6 га плюс 9 га иловых площадок;

- крупные городские сооружения (280 тыс. м³/сут), общая площадь которых со всеми элементами достигает 55 га;

- мегакомплексы (свыше 280 тыс. м³/сут). Их размеры не регламентируются типовыми нормативами и определяются индивидуально под каждый проект. Такие объекты достигают поистине городских масштабов.

Для понимания масштабов достаточно взглянуть на несколько знаковых объектов:

- Байлунган (Шанхай, Китай) – крупнейший комплекс в Азии (254,37 га). Этот гигант ежедневно очищает 2,8 млн м³ сточных вод, перерабатывая треть всего стока

- Тяньцзинь (Китай) – самый масштабный полуподземный объект в Азии (проект на 42,23 га).

- Парижские очистные сооружения «Ашер» – одни из крупнейших во Франции (около 100 га). Проектная производительность – 1,2 млн м³/сут.

- Люберецкие очистные сооружения (173 га) в районе Некрасовки. Производительность – 3 млн м³/сут.

- Курьяновские очистные сооружения (160 га) на юго-востоке Москвы. Производительность – 3,125 млн м³/сут.

Если к тому же учитывать иловые площадки, участки складирования осадка и буферные зоны, то площадь отчуждения по одному такому кластеру неминуемо приближается к 190–220 га, что составляет колоссальный земельный ресурс.

В решении проблемы комфортной городской среды и устойчивого развития городской инфраструктуры модернизированные очистные сооружения и современные технологии очистки могут сыграть ключевую роль. Они не только обеспечивают нормативное состояние сточных вод, но и способствуют сохранению экологического баланса, что крайне важно для здоровья городского населения и окружающей среды [10, 11].

Таким образом, анализируя российский и международный опыт проектирования инженерных систем в целом и очистных сооружений в частности, следует отметить, что сегодня общемировыми трендами их функционирования в единстве с городской средой являются: цифровизация с использованием таких технологий, как Интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (ИИ), большие данные и облачные платформы, используемые для оптимизации городских процессов и повышения качества жизни [12]. Примером цифровизации процессов в городской среде может служить проект «Умный город», одной из задач которого является эффективное и качественное управление городским хозяйством в режиме реального времени.

Демографические изменения и рост застройки увеличивают нагрузку на инженерные сети и вызывают изменения в структуре потребления ресурсов. Это требует комплексного планирования всех взаимосвязанных элементов городской инфраструктуры [13]. Такой подход способствует повышению безопасности, энергоэффективности, улучшению качества жизни горожан и обеспечивает устойчивое развитие городов.

Тем не менее на протяжении многих веков город (и его инфраструктура) традиционно рассматривался как объект, противопоставляемый природе, так как его развитие всегда шло по пути изъятия природных ресурсов вопреки пониманию конечности природного фактора. Поэтому современная практика градостроительства, при недостаточном учете законов взаимодействия между обществом и природой, сопровождается значительным негативным (антропогенным и техногенным) воздействием на природную среду, что чревато катастрофическими последствиями для биосферы и человека как ее части.

Новизна исследования заключается в развитии концептуальных представлений (базирующихся на фундаментальных принципах биосферной совместимости [14]) о трансформации качества городской среды и формировании городского пространства, связанного с неэффективно используемыми территориями очистных сооружений. Предложены принципы ревитализации территорий, занятых данными комплексами.

Цель статьи – изучение современных подходов к развитию городских пространств, в частности принципов ревитализации, основанных на формировании единой урбоэкологической среды, обеспечивающей взаимосвязь городской застройки с инженерными системами. Одной из задач исследования является развитие принципов проектирования и функционирования очистных сооружений города на основе биосферосовместимых технологий.

Материалы и методы

Исследование представляет собой теоретико-аналитический обзор, включающий анализ и синтез отечественного и зарубежного опыта функционирования городских очистных сооружений. Для анализа их работы рассматривались технологии очистки воды на крупнейших очистных комплексах Москвы: Курьяновских и Люберецких, а также Зеленоградских и Южно-Бутовских. В целях сопоставления опыта анализировались технологии организации инженерных сетей по очистке сточных вод в странах Евросоюза, Восточной и Юго-Восточной Азии.

В таблице приводится сопоставительная типология используемых технологий очистки сточных вод в разных странах мира.

Следует отметить, что в европейских странах, где природа преобразована гораздо больше, чем в России, в рамках городского планирования создают инженерные экологические сети (engineering ecological networks) в контексте получающей все большее развитие в настоя-



^ Рис. 1. Блок-схема принципов ревитализации территорий, занятых очистными сооружениями

Сопоставительная типология используемых технологий очистки сточных вод на очистных сооружениях (ОС)

Объект	Принцип модернизации	Технология очистки	Эффект от внедрения
Курьяновские ОС	Создание плоских плавающих перекрытий	Ультрафиолетовое обеззараживание	Энергоэффективность и экономия воды: за 10 лет был снижен объем сброса сточных вод на 22 %
Люберецкие ОС	Создание экологического барьера, предотвращающего поступление загрязняющих веществ в водные объекты	Механическое обезвоживание с помощью современных центробежных аппаратов (декантеров) вместо устаревших фильтр-прессов	Перспективным направлением утилизации осадка сточных вод является сушка осадка и его использование на цементных заводах в качестве альтернативного топлива (биотопливо)
Южно-Бутовские ОС	Поглощение и переработка углеводородных соединений биофильтрами	Гидробиотанический способ очистки в отстойниках с помощью растения эйхорнии	Высокая степень очистки: способны поглощать даже ракетное топливо из воды
Станция очистки воды в парке Хунху (Китай)	Сохранение экологического баланса	Технология полной засыпки для очистки воды	Восстановление поверхностного ландшафта
ОС Цилихэ-Аньнин (Ланьчжоу, Китай)	Обезвоживание осадка (Dehydris Twist)	Очистка сточных вод с совместным сбраживанием осадка и пищевых отходов	Снижение выбросов загрязняющих веществ, улучшение качества воды реки Хуанхэ; наземная территория превращена в общедоступный экопарк
ОС Пусан Суён (Busan Suyeong Sewage Treatment Plant; Южная Корея)	Cambi (система термического гидролиза)	Доминирующая технология – MBBR (moving bed biofilm reactor)	Восстановление поверхностного ландшафта
ОС Сольредгор (Solrødgård Water Treatment Plant; Дания)	Доминирующая технология – MBR (мембранные биореакторы)	Термический гидролиз (CambiTHP™); био-фильтрация воздуха	Восстановление поверхностного ландшафта

щее время концепции «зеленой инфраструктуры» (green infrastructure) городов. Европейская комиссия по охране окружающей среды (European Environment Agency, 2010) определяет «зеленую инфраструктуру» как стратегически спланированную систему, состоящую из естественных природных комплексов и искусственных инженерных сетей в совокупности со всеми особенностями окружающей среды (природными процессами), внутри которой может быть реализован широкий спектр экосистемных услуг.

Кроме того, исследование базируется на анализе концепций стратегического и оперативного городского планирования инженерных систем с целью их интеграции в пространство города. В частности рассматриваются концепции создания природоориентированных систем жизнеобеспечения городов, определяющих условия жизни горожан и качество городской среды.

Результаты

Концептуальной основой создания комфортной городской среды может служить концепция биосферной совместимости, которая подчеркивает необходимость ревитализации (от лат. *re-vita* – возвращение к жизни) территорий очистных сооружений с целью воссоздания, оживления и восстановления городского пространства и его архитектурно-ландшафтной организации. Ревитализация территорий очистных сооружений подразумевает, что эти инженерные объекты должны способствовать сохранению средо- и ресурсовоспроизводящей способности ландшафтов и поддержанию природных территорий в состоянии устойчивости, не нанося ущерб окружающей среде. В этом контексте авторами сформулирован минимальный набор принципов природно-рекреационной ревитализации территорий, занятых очистными сооружениями (рис. 1).

Экологические принципы определяют последовательность и глубину природно-ориентированных решений, необходимых для безопасной трансформации территорий очистных сооружений в рекреационную среду. Реализация этих принципов позволяет совместить задачи озеленения, экологической безопасности и формирования комфортного городского пространства.

Планировочные принципы обеспечивают включение территории ревитализации в систему городских связей



< Рис. 2. Городской парк над станцией водоочистки Хунху (Китай) (<https://moool.com>)

и зеленого каркаса на основе градостроительного анализа территории. Эти принципы позволяют рассматривать бывшую территорию очистных сооружений не как изолированный объект благоустройства, а как элемент более крупной градостроительной структуры, способный объединять ранее разорванные фрагменты городской ткани. Функционально-планировочная структура природно-рекреационного пространства формируется с учетом площади, конфигурации и протяженности участка. Крупные и компактные территории могут ориентироваться на создание многофункциональных парков с дифференцированным зонированием, линейные – на зеленые коридоры и прогулочные бульвары, фрагментированные – на сеть локальных общественных пространств.

Экономико-правовые принципы фиксируют применяемые технологии и требования к балансу интересов собственников, инвесторов, муниципалитета и населения, а также к соответствию градостроительным регламентам. Эта группа принципов обеспечивает не только концептуальную целостность проекта ревитализации, но и его реализуемость с применением технологий по восстановлению природного комплекса и использованию патологических процессов жизнедеятельности как ресурса развития. Биосферосовместимые технологии – это одновременно и управленческие подходы, решающие эффективно экономические проблемы и формирующие устойчивые поселения. Эти технологии подразумевают разделение технических инноваций на прогрессивные и регрессивные по их воздействию на симбиотическую жизнь биосферы и будущих поколений людей. Ценные и пригодные к использованию объекты будут включаться в структуру природно-рекреационного пространства как общественные, культурные центры, формируя уникальный образ. Такие технологии должны максимально реализовываться в программах развития городов и регионов.

Социокультурные принципы направлены на раскрытие потенциала территории как элемента общественной жизни и носителя городской идентичности. Реализация этих принципов способствует тому, что ревитализированная территория становится не только физически доступной, но и привлекательной для жителей, превращаясь из «серой зоны» в значимый элемент городского

образа. К социокультурным принципам можно отнести и сервисные факторы, которые отражают уровень комфорта городской среды для горожан: уровень благоустройства территорий, комфорт пешеходного движения, наличие объектов коммерческой, культурной и досуговой инфраструктуры.

Таким образом, интеграция очистных сооружений в городскую среду – это уже не просто инженерная задача, а новое направление в урбанистике, где территории промышленных объектов становятся частью общественных пространств, при этом не теряя своей основной функции.

В качестве примеров интеграции территорий очистных сооружений в городскую среду могут быть рассмотрены следующие объекты. На материале станции очистки воды в парке Хунху (Китай) может быть показан положительный опыт проектирования очистных сооружений с созданием подземной станции водоподготовки и восстановлением над ней наземного ландшафта (рис. 1). Также можно обратить внимание на подземные очистные сооружения и их интеграцию в городскую среду. Например, комплекс «Лицзю» в Гуанчжоу (Китай) имеет двухуровневую структуру – подземные производственные цеха и надземный парк с водопадами и цветущими растениями. Такой подход позволяет высвобождать городскую землю и превращать территории в общественные пространства – парки, спортивные объекты, инновационные и научные центры (рис. 2).

Подобные планировочные решения позволяют эффективно использовать территорию города, размещая на одной площадке как сооружение, обеспечивающее полноценное функционирование инженерных систем, так и общественное пространство, создающее комфортные условия для населения. Такое решение обладает эстетическими и экологическими качествами, возвращая данные территории в полноценную городскую эксплуатацию. Помимо этого, территория очистных сооружений перестает восприниматься как островок экологического неблагополучия, что очень важно с точки зрения создания экологического и социального каркасов городов.

Сформулированные выше принципы можно рассматривать в качестве «зон пересечения» стратегии развития инженерных систем как элементов жизнеобеспечения

> Рис. 3. Городской парк в комплексе «Лицзю» в Гуанчжоу (Китай) на базе подземных очистных сооружений
(<https://inbusiness.kz>)



города и концепции природно-рекреационной ревитализации городского пространства.

Обсуждение

Полученные результаты позволяют уточнить методологические рамки обсуждения не только экологических проблем городов, но и защиты территории в целях рационального градостроительного использования инженерных систем.

Почему тезис об «инженерных системах города как элементах его жизнеобеспечения» остается актуальным и требует новой концепции качественного развития комфортных условий жизнедеятельности? Отвечая на этот вопрос, прежде всего следует исходить из того, что комфортные условия жизнедеятельности невозможно поддерживать без восстановления градостроительных природно-техногенных систем.

Во-первых, при рассмотрении возможности создания принципиально новых многофункциональных городских ландшафтов следует учитывать градостроительные подходы, формирующие устойчивые многофункциональные экосистемы и ландшафты. Такие решения улучшают предоставление разнообразных (в соответствии с потребностями населения) экосистемных услуг по сравнению с традиционными методами, применяемыми для повышения биоразнообразия, связности и устойчивости ландшафтов. Здесь основной принцип ревитализации заключается в раскрытии новых возможностей ранее деградировавших территорий с учетом их современных функций, а также во включении их в экологический каркас города. Этот принцип подтверждается практикой ревитализации территории очистных сооружений.

Во-вторых, при рассмотрении очистных комплексов следует уделять внимание некоторым вполне реальным идеям внедрения новых биосферосовместимых технологий, обеспечивающих воспроизводство природных ресурсов и развитие деградировавших ранее флоры и фауны. Так, например, современные очистные сооружения часто используются не только для очистки воды, но и для производства биогаза, который может применяться в качестве альтернативного источника городской энергии.

В-третьих, комфортные условия жизнедеятельности и природоподобный городской ландшафт, направленный

на обеспечение комплексного устойчивого развития современной городской инфраструктуры на основе коммуникаций, зависят не только от технологий очистки, но и от гармоничного сочетания городского ландшафта с инженерными системами. Эмпирические исследования по формированию ландшафтного городского дизайна, зеленой инфраструктуры, биоинженерных сооружений показывают значимость обсуждаемых вопросов и необходимость интеграции отдельных решений в единую концепцию комплексного развития городского пространства.

И наконец, важным аспектом является экономическая выгода от использования современных очистных комплексов. Внимание к проблеме утилизации иловых осадков, являющихся основным отходом очистных сооружений, связано с возрастанием их объемов, сложностью выделения и размещения накопленных отходов на новых полигонах, ростом расходов на транспортировку и захоронение отходов. При этом новейшие технологии позволяют не только снизить расходы на обработку сточных вод и утилизацию отходов, но и предотвратить возможные штрафы за нарушение экологических норм. Имеющиеся к настоящему времени результаты исследований подтверждают экономическую мотивацию к внедрению очистных сооружений в плотной городской застройке и получению отходов с целью их дальнейшего использования, что подтверждается разработками, доказавшими свою экономическую эффективность и инвестиционную привлекательность.

Заключение

В современном мире наблюдается изменение отношения к инженерным системам городов. Исторически они развивались как технические объекты, работа которых была связана только с обеспечением жизнедеятельности городов. Однако анализ развития таких систем показывает, что они могут иметь природо- и социоориентированную направленность, позволяющую полноценно использовать потенциал территорий, на которых располагаются. Для этого необходимо понимать, что природно-рекреационная ревитализация должна рассматриваться как одно из направлений развития инженерных систем.

В основе данного направления должно лежать решение двойной задачи: во-первых, территория должна сохранить необходимую инженерную функцию; во-вторых, нужно сформировать новую функцию – природно-рекреационную, которая позволит использовать ее потенциал для создания элементов экологического каркаса города и общественных центров. При этом направление природно-рекреационной ревитализации территорий инженерных систем должно отвечать основным принципам – экологическим, планировочным, экономико-правовым и социокультурным. Концепция применения принципов биосферной совместимости для инженерных систем позволит преодолеть устаревшее противопоставление: город – природа.

Рассмотренные принципы и подходы могут быть использованы при разработке программ устойчивого развития городов, проектов реновации инженерной инфраструктуры, а также при формировании градостроительных регламентов в части размещения и модернизации очистных сооружений. Особую актуальность эти решения приобретают в условиях плотной городской застройки, дефицита свободных территорий, а также при необходимости адаптации к климатическим изменениям.

Литература

1. Григорьева, Е. И. Город как организм // Проект Байкал. – 2021. – Т. 18, № 67. – С. 45. DOI: 10.51461/projectbaikal.67.1753
2. Романов, О. Размещение инженерных сетей в городах: конфликт интересов // Инженерные изыскания. – 2009. – № 2. – С. 10–13.
3. Музалевская, Г. Н., Дутова, Д. В., Шик, К. В. Формирование новых подходов к инженерным сетям городов и населенных пунктов // Безопасный и комфортный город : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конференции. – Орел, 2025. – С. 340–347.
4. Токтошов, Г. Ы. Об оптимизации инженерных сетей крупных городов // Евразийский союз ученых. – 2015. – № 3–5 (12). – С. 16–19.
5. Ершова, Т. Л., Бедрина, С. А. Проблемы и перспективы развития инженерных сетей городов // Известия вузов. Горный журнал. – 2017. – № 3. – С. 31–37.
6. Пупырев, Е. И. МосводоканалНИИпроект – 75 лет работы в области проектирования инженерных систем жизнеобеспечения города // Деловая слава России. – 2015. – № 50. – С. 31–33.
7. Примин, О. Г., Пупырев, Е. И., Варюшина, Г. П. Системное решение проблем уборки и утилизации снега в Москве // Водоснабжение и санитарная техника. – 2015. – № 4. – С. 37–46.
8. Пупырев, Е. И., Ружицкая, О. А., Жолобова, А. В., Липатов, В. С. Анализ современных технологий глубокой очистки сточных вод с целью внедрения на городские очистные сооружения // Системные технологии. – 2023. – № 1 (46). – С. 112–119.
9. Мелькумов, В. Н., Чуйкин, С. В., Папшицкий, А. М., Скларов, К. А. Моделирование структуры инженерных сетей при территориальном планировании города // Науч. вестник Воронеж. гос. арх.-строит. университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 2 (38). – С. 41–48.
10. Кудряшова, Г. Н., Мельников, Ф. А., Серов, А. Е. Инженерные сети городов. Проблемы, возникающие при расширении границ современных мегаполисов (на примере города Москвы) // Техника и технологии мира. – 2015. – № 5. – С. 31–35.
11. Музалевская, Г. Н., Зубова, З. А. Проблемы комплексного благоустройства городов при реконструкции сетей жизнеобеспечения // Безопасный и комфортный город: материалы VI Междунар. науч.-практ. конференции. – Орел, 2023. – С. 350–353.
12. Крицкий, Г. Г. Инженерная инфраструктура города и цифровые технологии // Водоснабжение и санитарная техника. – 2019. – № 2. – С. 49–56.
13. Киевский, Л. В. Инженерия в градостроительстве // Фундаментальные поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства

и строительной отрасли Российской Федерации в 2022–2023 годы : науч. труды РААСН : в 2 т. – Москва, 2024. – С. 346–358.

14. Ильичев, В. А., Колчунов, В. И., Тимофеева, Е. А., Бакаева, Н. В. Экологическая реконструкция городских территорий и инженерных сооружений на принципах биосферной совместимости // Водоснабжение и санитарная техника. – 2016. – № 3. – С. 5–14.

References

- Ershova, T. L., & Bedrina, S. A. (2017). Problems and further development of urban utilities. *Minerals and Mining Engineering*, (3), 31–37.
- Grigoreva, E. (2021). The city as an organism. *Project Baikal*, 18(67), 45. <https://doi.org/10.51461/projectbaikal.67.1753>
- Il'ichev, V. A., Kolchunov, V. I., Timofeeva, E. A., & Bakaeva, N. V. (2016). Reconstruction of urban areas and utilities on the principle of biospheric compatibility. *Water Supply and Sanitary Technique*, (3), 5–14.
- Kievsky, L. V. (2024). Engineering in urban planning. In *Fundamentalnye poiskovye i prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitelstva i stroitelnoj otrasli Rossijskoj Federacii v 2022–2023 gody: nauch. trudy RAASN: In 2 vols.* (pp. 346–358).
- Kritskii, G. G. (2019). Urban utility infrastructure and digital technologies]. *Water Supply and Sanitary Technique*, (2), 49–56.
- Kudryashova, G. N., Melnikov, F. A., & Serov, A. E. (2015). Inzhenernye seti gorodov. Problemy, voznikayushchie pri rasshirenii granicz sovremennykh megapolisov (na primere goroda Moskvy). [Utility networks of cities. Problems Arising from the Expanding Boundaries of Modern Megacities (using Moscow as an Example)]. *Tekhnika i tekhnologii mira*, (5), 31–35.
- Mel'kumov, V. N., Chujkin, S. V., Papshickij, A. M., & Sklyarov, K. A. (2015). Modelling of structure of engineering networks in territorial planning of the city]. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*, 2(38), 41–48.
- Muzalevskaya, G. N., Dutova D. V., & Shik, K. V. (2025). Formation of New Approaches to Utility Networks of Cities and Settlements. *A safe and comfortable city: Proceedings of the VIII international research and practical conference* (pp. 340–347). Oryol.
- Muzalevskaya, G. N., & Zubova, Z. A. (2023). Problemy kompleksnogo blagoustrojstva gorodov pri rekonstrukcii setej zhizneobespecheniya. [Problems of Integrated Urban Improvement during the Reconstruction of Life Support Networks]. *A safe and comfortable city: Proceedings of the VI international research and practical conference* (pp. 350–353). Oryol.
- Primin, O. G., Pupyrev, E. I., & Variushina G. P. (2015). Comprehensive solution of snow management in Moscow. *Water Supply and Sanitary Technique*, (4), 37–46.
- Pupyrev, E. I. (2015). MosvodokanalNIIProyekt – 75 years of work designing engineering systems of the city]. *Delovaya Slava Rossii*, (50), 31–33.
- Pupyrev, E. I., Ruzhiczskaya, O. A., Zholobova, A. V., & Lipatov, V. S. (2023). Analiz sovremennykh tekhnologiy glubokoj ochistki stochnykh vod s celyu vnedreniya na gorodskie ochistnye sooruzheniya. [Analysis of modern technologies for deep wastewater treatment for the purpose of implementation at municipal treatment facilities]. *Sistemnye tekhnologii*, 1(46), 112–119.
- Romanov, O. (2009). Razmeshhenie inzhenernykh setej v gorodax: konflikt interesov. [Placement of Utility Networks in Cities: Conflict of Interest]. *Inzhenernye izyskaniya*, (2), 10–13.
- Toktoшов, G. Y. (2015). Ob optimizacii inzhenernykh setej krupnykh gorodov. [On Optimization of Utility Networks of Large Cities]. *Eurasian Union of Scientists*, 3–5(12), 16–19.