

Экономические аспекты инфраструктуры современного мегаполиса с учётом экологической безопасности очистных сооружений

Economic aspects of the infrastructure of a modern megapolis, taking into account the environmental safety of sewage treatment plants

УДК 332.1

Получено: 20.05.2025

Одобрено: 19.06.2025

Опубликовано: 25.07.2025

Зиневич Н.Н.

Канд. воен. наук, доцент, ОУП ВО «Академия труда и социальных отношений», г. Москва
e-mail: niknikzinevich@gmail.com

Zinevich N.N.

Candidate of Military Sciences, Associate Professor, Academy of Labor and Social Relations,
Moscow
e-mail: niknikzinevich@gmail.com

Бочкарев А.В.

Старший преподаватель, ОУП ВО «Академия труда и социальных отношений», г. Москва
e-mail: bocha-nn@mail.ru

Bochkarev A.V.

Senior Lecturer, Academy of Labor and Social Relations, Moscow
e-mail: bocha-nn@mail.ru

Левашов С.А.

Аспирант, ФГАОУ ВО «Московский государственный технологический университет
«СТАНКИН», г. Москва
e-mail: Lsa9433993@yandex.ru

Levashov S.A.

Postgraduate student, Moscow State Technical University STANKIN, Moscow
e-mail: Lsa9433993@yandex.ru

Аннотация

В статье представлены результаты исследования современного состояния и экологической безопасности сферы сбора и обработки сточных вод, выявлены проблемы в данной области и проанализированы наиболее успешные проекты, обоснована необходимость осуществления инвестиций для реконструкции и строительства новых очистных сооружений в крупных городах в связи с высокой степенью износа данных объектов, высокими экологическими рисками, устареванием используемых при очистке воды технологий. Показано, что инвестиции в инфраструктуру современного мегаполиса с учётом экологической безопасности очистных сооружений имеют сравнительно быструю окупаемость и высокий экономический эффект за счет автоматизации процессов очистки воды, сокращения затрат на электроэнергию благодаря внедрению энергосберегающих технологий, снижение расходов на утилизацию отходов, сокращение экологических штрафов благодаря снижению выбросов

запахов и повышения качества очистки, снижение эксплуатационных расходов, монетизацию отходов.

Ключевые слова: инвестиции, модернизация очистных сооружений, инфраструктура мегаполиса, экологическая безопасность.

Abstract

The article presents the results of a study of the current state and environmental safety of wastewater collection and treatment, identifies problems in this area and analyzes the most successful projects, justifies the need for investments in the reconstruction and construction of new treatment facilities in large cities due to the high degree of wear of these facilities, high environmental risks and obsolescence of water used in water treatment technology. It is shown that investments in the infrastructure of a modern metropolis, taking into account the environmental safety of sewage treatment plants, have a relatively quick payback and a high economic effect due to automation of water purification processes, reduction of energy costs due to the introduction of energy-saving technologies, reduction of waste disposal costs, reduction of environmental penalties due to reduced odor emissions and improved cleaning quality, reduction of operating costs, monetization of waste.

Keywords: investments, modernization of sewage treatment plants, megalopolis infrastructure, environmental safety.

Введение

Согласно Указу Президента «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации», обеспечение экологической безопасности является важным элементом обеспечения национальной безопасности страны [1]. При этом одной из целей на федеральном уровне является следование траектории экологически ориентированного роста экономики, стимулирование внедрения инновационных, «зеленых» технологий, а также экологически безопасных производств.

Особую роль в этом играет модернизация и строительство очистных сооружений как элемента экологической инфраструктуры города. Они представляют собой комплекс специальных сооружений, предназначенных для очистки сточных вод, которые образуются в результате жизнедеятельности населения, работы предприятий и ливневых стоков. Эффективное удаление из воды загрязняющих органических, биологических, минеральных, химических и бактериальных веществ является одним из факторов обеспечения санитарного благополучия мегаполиса, его устойчивого развития и поддержания приемлемого уровня экологической безопасности.

Актуальность темы исследования обусловлена тем фактом, что на данный момент требуется масштабное реконструирование, модернизация и строительство новых очистных сооружений, которые смогут осуществлять качественную очистку воды, обеспечение экологической безопасности в рамках мегаполиса. Кроме того, в научной литературе можно встретить достаточно большое количество работ, посвященных исследованию особенностей функционирования объектов водоотведения и очистных сооружений, технологий по очистке воды, обеспечению экологической безопасности поверхностных вод и т.д. [3; 12].

Однако экономическим аспектам инфраструктуры мегаполисов и городов в части обеспечения экологической безопасности очистных сооружений практически не посвящено исследований.

Можно выделить лишь работы Е.И. Пупырева и А.С. Шеломкова, которые представляют экономическое обоснование экологически безопасных технологий очистки сточных вод [13], Л.Я. Герцберг, которая рассматривает основы интеграции экономики и экологии для обеспечения эффективной экологической гармонизации городов [6]; Ю.В. Коречкова, И.Б. Тесленко и В.А. Кваша, которые исследуют деятельность органов муниципального и государственного управления по реализации проекта «Чистая вода», направленного на повышение качества управления объектами водоснабжения [8] и др.

По нашему мнению, критически важным в вопросе управления, строительства и модернизации очистных сооружений является экономический аспект: исследование существующих экономических вызовов и затрат инфраструктуры мегаполиса; обоснование экономической целесообразности внедрения современных технологий в процесс очистки воды; анализ проблем и барьеров, препятствующих осуществлению модернизации и строительства очистных сооружений, а также перспективных направлений в этой сфере.

В связи с этим целью данной статьи является исследование современного состояния сферы сбора и обработки сточных вод, выявление проблем в данной области, обоснование необходимости и выделение основных направлений совершенствования экономического управления в сфере реконструкции и строительства новых очистных сооружений.

Современное состояние инфраструктуры и экологической безопасности очистных сооружений мегаполисов

В России на начало 2025 г. насчитывалось 16 мегаполисов, численность населения которых превышает 1 млн чел. (Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Екатеринбург, Казань, Красноярск, Нижний Новгород, Краснодар и др.). Каждый из этих городов обладает развитой инфраструктурой, обеспечивающей комфортную жизнедеятельность как гражданского сектора, так и функционирование многочисленных бюджетных и коммерческих организаций, а также поддержание экологической безопасности.

Экологическая безопасность мегаполиса представляет собой многомерное явление, или состояние города, при котором рационально используются и воспроизводятся природные ресурсы, принимаются меры по предотвращению негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности как на окружающую среду, так и на население [16]. Современная экологизация мегаполисов предусматривает снижение объема выбросов, озеленение территорий, установление допустимой нагрузки на рекреационные комплексы, повышение эффективности сбора и утилизации бытовых отходов, восстановление природных территорий, а также модернизацию и строительство очистных сооружений, необходимых для очистки сточных вод [6].

Экологическая безопасность включает в себя систему мер, направленных в первую очередь на очистку воды до возвращения ее в водные пути. Однако на данный момент в России и, в частности, в городах-миллионниках наблюдается недостаточно высокий уровень очистки сточных вод из-за устаревшего оборудования, обладающего высоким уровнем износа.

Так, по данным ЕМИСС, степень износа основных фондов коммерческих и некоммерческих организаций по основному виду деятельности «Сбор и обработка сточных вод» составляет более 40% в общем и более 60% отдельно по машинам и оборудованию [7]. В связи с этим очистные сооружения не справляются с очисткой даже половины сточных вод до нормативных показателей. Средняя доля очищенных сточных вод по России в 2022 г. составляла 46,03%. Более того, динамика имеет негативную тенденцию – в 2019 г. этот показатель составлял 45,73% [7].

Как показано в табл. 1, даже среди мегаполисов наблюдается значительное расхождение в доле очищенных сточных вод. К примеру, в таких городах, как Москва и Новосибирск доля очищенных сточных вод, прошедших через очистительные сооружения, составляет 100%.

Высокое значение данного показателя наблюдается и в городах Нижний Новгород (99,75%) и Омск (95,05%). В других городах, таких как Краснодар, Ростов-на-Дону и Уфа доля очищенных сточных вод в 2023 г. составляла 4,08, 2,08 и 0,28 % соответственно.

Доля сточных вод, очищенных до нормативных значений, в общем объеме сточных вод, пропущенных через очистные сооружения

Город	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Москва	100	99,95	99,96	99,95	99,96
Краснодар	1,98	2,01	1,64	3,83	4,08
Ростов-на-Дону	1,22	1,51	1,74	1,85	2,08
Уфа	0,13	0,11	0,2	0,25	0,28
Нижний Новгород	99,93	99,84	99,81	99,86	99,75
Новосибирск	99,97	99,96	100	100	100
Омск	95,47	95,45	95,74	95,44	95,05

Источник: составлено автором по данным Росстата [15]

Согласно рис. 1, в области водоснабжения и водоотведения представлен незначительный объем инновационных товаров, работ и услуг в общем объеме товаров, работ и услуг – от 2,3 % в 2019 г. до 2,9 % в 2023 г. Для сравнения – в среднем по всем видам деятельности этот показатель составляет 5,2-5,9 %.

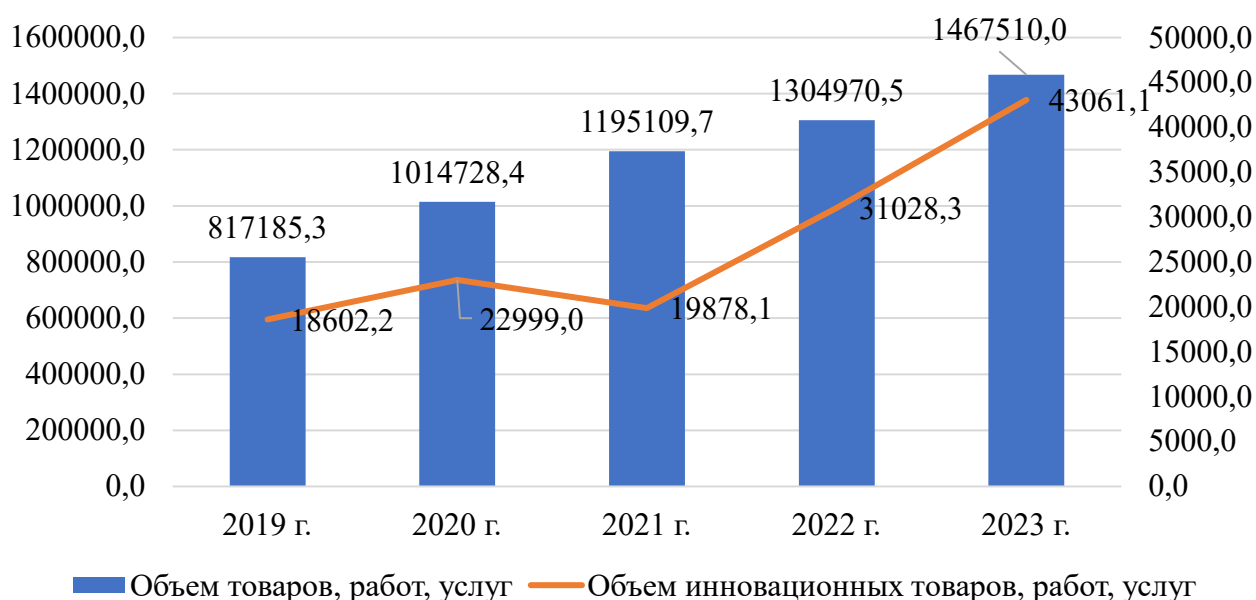


Рис. 1. Динамика изменения объема товаров, работ и услуг, в том числе инновационных, по виду деятельности «Водоснабжение и водоотведение»

Источник: составлено автором по данным Росстата [15]

Стоит отметить высокую инвестиционную активность в области сбора и обработки сточных вод (рис. 2). В среднем по всем видам деятельности доля инвестиций, направленных на реконструкцию и модернизацию в общем объеме инвестиций в основной капитал, в 2023 г. составляла 14,6%. По виду деятельности «Сбор и обработка сточных вод» данный показатель составлял 71,3% в 2019 г. и 43,6% в 2023 г.

С одной стороны, снижение доли инвестиций может быть обусловлено завершением ряда крупных инвестиционных проектов по модернизации и строительству очистных сооружений, с другой стороны, это говорит о снижении инвестиционной активности в данной сфере.

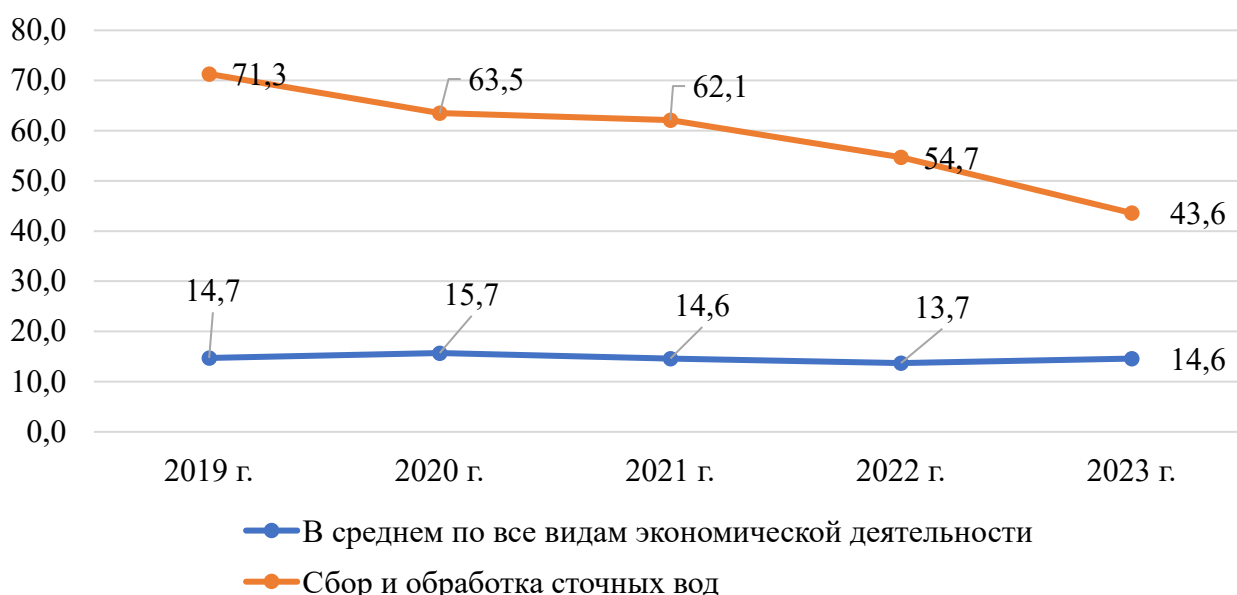


Рис. 2. Доля инвестиций, направленных на реконструкцию и модернизацию в общем объеме инвестиций в основной капитал
Источник: составлено автором по данным Росстата [15]

Экономические аспекты модернизации и обновления компонентов инфраструктуры в области сбора и обработки сточных вод

Для начала необходимо остановиться на рассмотрении основных экономических вызовов и проблем в области финансирования инфраструктуры мегаполиса в области очистки сточных вод.

Во-первых, строительство и модернизация очистных сооружений и внедрение экологических и инновационных технологий для повышения доли очищенной воды требуют больших инвестиций. Создание современных очистных комплексов, которые могут справиться с нагрузкой мегаполиса, включает в себя разработку и проектирование сложных инженерных систем: насосных станций, биологических и химических блоков очистки, систем обеззараживания, а также сооружений для обработки и утилизации осадков. Например, стоимость модернизации очистных сооружений в г. Краснодаре составляет более 1,3 млрд руб. [5], реализации проекта по модернизации канализационных очистных сооружений в г. Краснодаре за 2024-2027 гг. составит 75,3 млрд руб. [10], реализации программы технического перевооружения очистных сооружений канализации в г. Ростове-на-Дону за 2023-2029 гг. составит около 46 млрд руб. [2].

Во-вторых, реализация проектов в области модернизации и строительства очистных сооружений осложняется широким масштабом данной деятельности и необходимостью привлечения значительных материальных и человеческих ресурсов.

В-третьих, в проектах по обновлению и строительству очистных комплексов, которые смогут выдержать нагрузку мегаполиса, необходимо учитывать внедрение современных экологически безопасных технологий. Они включают в себя цифровые технологии по автоматизации процессов очистки воды, системы ультрафиолетового обеззараживания, мембранные биореакторы с функциями нанофильтрации и ультрафильтрации, платформы предиктивной аналитики на основе искусственного интеллекта, усовершенствованные процессы окисления, 3D-печать, технологии дополненной и виртуальной реальности, технологии мониторинга и анализа сточных вод в реальном времени на основе применения облачных технологий, биоэнергетические технологии для производства возобновляемой энергии из сточных вод и мн. др.

В-четвертых, реализация инвестиционных проектов в сфере сбора и очистки воды – это длительный процесс, который включает в себя множество этапов – от разработки проекта и

его согласования, до введения объектов в эксплуатацию и тестирования их эффективности. Важно обеспечить последовательность и непрерывность всех этапов во время строительства новых объектов, что требует дополнительных затрат и организационных усилий.

В-пятых, функционирование очистительных сооружений возможно только при условии наличия соответствующей инфраструктуры: канализационных насосных станций, систем управления и мониторинга, коллекторов и пр. Это увеличивает стоимость проектов по модернизации и строительству очистных комплексов.

Значительные инвестиции в строительство и модернизацию очистных сооружений в мегаполисах обусловлены масштабом и технической сложностью данных объектов, необходимостью соответствия внедряемых технологий экологическим стандартам, длительностью реализации проектов и соответствующими инфраструктурными затратами.

Тем не менее, эти вложения являются обязательными, так как они позволяют повысить эффективность и производительность очистных сооружений, увеличить проходимость сооружений и долю воды, очищенной до нормативного уровня, а также снизить затраты на ликвидацию последствий загрязнений.

Далее рассмотрим некоторые проекты в области строительства и модернизации очистных сооружений в крупнейших городах России (табл. 2). Ярким примером эффективного управления, модернизации и строительства очистных сооружений как объекта инфраструктуры является г. Москва. АО «Мосводоканал» в последние годы активно проводит работы по внедрению инноваций для обеспечения 100% очистки сточных вод.

Таблица 2

Результаты и экономическая эффективность ряда инвестиционных проектов в области модернизации и строительства очистных сооружений

Проект	Результаты и экономическая эффективность
Реконструкция Люберецких очистных сооружений (г. Москва)	<ul style="list-style-type: none"> – сокращение потребления электроэнергии на 15% за счет внедрения 8 регулируемых воздухоудовных агрегатов; – снижение затрат на обслуживание за счет автоматизации; – повышение стабильности работы; – сокращение расходов на утилизацию за счет переработки песка; – монетизация отходов через безотходные технологии; – сокращение экологических штрафов за счет снижения выбросов запахов и повышения качества очистки; – обеспечение возврата инвестиций при сохранении социальной доступности за счет установленного тарифа 563 руб. / кубометр
Модернизация Нижегородской станции аэрации (г. Нижний Новгород)	<ul style="list-style-type: none"> – снижение выбросов неприятных запахов в атмосферу на 99%, парниковых газов – на 95%; – мощность объекта – 790 тыс. кубометров; – повышение энергоэффективности и снижение эксплуатационных расходов за счёт замены устаревшего оборудования и внедрения современных технологий; – сроки окупаемости отдельных мероприятий – около 2 лет за счёт экономии электроэнергии и сокращения затрат на ремонт
Проект «Мегаполис»	<ul style="list-style-type: none"> – снижение капитальных затрат за счет компактности и размещения всех технологических процессов в одном здании; – снижение себестоимости очистки вод на 30-40%; – экономия территории и инфраструктурных затрат; – использование очищенной воды для хозяйственных нужд; – минимизация экологических затрат

Проект	Результаты и экономическая эффективность
Модернизация очистных сооружений аэропорта «Пулково» (г. Санкт-Петербург)	<ul style="list-style-type: none"> – снижение экологических штрафов и рисков за счет внедрения многоступенчатой системы очистки; – повышение эффективности автоматизации и мониторинга; – оптимизация эксплуатации и снижение эксплуатационных расходов

Источник: составлено автором на основе открытых источников сети Интернет

Одним из крупнейших проектов является реконструкция Люберецких очистных сооружений, которая проводилась в 2013-2023 гг. [9]. Проект был реализован в несколько этапов без остановки производственной деятельности. Так, с 2013 г. были устранены неприятные запахи за счет перекрытия основных источников запаха, создан единый центр обработки осадка, заменены устаревшие фильтры, реконструированы блоки биологической очистки и т.д. Кроме того, внедрен ряд инновационных решений: двухэтапное изъятие мусора из сточной воды, технологии глубокого удаления азота и фосфора, блок ультрафиолетового обеззараживания, а также энергоэффективных решений.

В результате реализации проекта снизились эксплуатационные расходы за счет повышения энергоэффективности и автоматизации процессов, появились новые источники дохода благодаря внедрению технологий безотходного производства (ранее вредные отходы – азот и фосфор – после реализации проекта стали использоваться для производства минеральных удобрений, извлекаемый песок используется в строительстве, биотопливо из осадка преобразуется в топливо для цементных заводов), сократились экологические штрафы благодаря снижению выбросов запахов и повышению качества очистки.

Ярким примером эффективного управления, модернизации и строительства очистных сооружений как объекта инфраструктуры является г. Москва. АО «Мосводоканал» в последние годы активно проводит работы по внедрению инноваций для обеспечения 100% очистки сточных вод. Одним из крупнейших проектов является реконструкция Люберецких очистных сооружений, которая проводилась в 2013-2023 гг. [9]. Проект был реализован в несколько этапов без остановки производственной деятельности.

Реконструкция Люберецких очистных сооружений продолжается, и на создание объекта водоотведения в рамках нового проекта на 2023-2025 гг. выделяется 12,4 млрд руб. [11]. Согласно утвержденному проекту, чистая приведенная стоимость (NPV) составит 1 051,6, внутренняя норма доходности (IRR) – 7,8%, а срок окупаемости – 12 лет.

В Нижнем Новгороде к концу 2025 г. в рамках национального проекта «Экология» планируется завершение первого этапа модернизации Нижегородской станции аэрации. Планируется, что после модернизации станции объемы сброса загрязняющих веществ в Волгу уменьшатся в три раза, а мощность объекта составит 790 тыс. кубометров в сутки. Среди наиболее важных результатов реализации проекта можно отметить повышение энергоэффективности и снижение эксплуатационных расходов за счет замены устаревшего оборудования, сокращение экологических штрафов.

Стоит также отметить станции «Мегаполис» [14]. Это инновационная разработка с нулевой эмиссией, которая предназначена для очистки сточных вод в местах, где невозможно или экономически нецелесообразно подключение к существующим сетям. Все технологические процессы очистки, обработки осадка и т.д. располагаются в одном здании, что позволяет сократить территорию и сроки строительства, а также стоимость строительства на 30%. Кроме того, себестоимость 1 куб. м воды на 30-40% ниже относительно классических очистных сооружений, а полученную очищенную воду можно использовать для хозяйственных и производственных целей. Данные станции уже построены в ряде городов России, включая г. Москву (Инновационный центр «Сколково», международный аэропорт «Шереметьево», ООО «АПХ Мираторг» и т.д.).

Многочисленные проекты реализованы в г. Санкт-Петербурге. Реализация проекта модернизации очистных сооружений аэропорта «Пулково» в 2019-2022 гг. позволила снизить

экологические риски и штрафы, повысить эффективность автоматизированного управления процессом очистки, снизить операционные расходы за счет оптимизации процессов и т.д. [4].

Мы считаем, что наиболее перспективными направлениями совершенствования экономических аспектов инфраструктуры современного мегаполиса с учетом экологической безопасности очистных сооружений являются следующие:

1) Цифровизация и автоматизация за счет внедрения систем управления и мониторинга за поступлением и состоянием воды в очистных сооружениях на базе искусственного интеллекта, а также технологий предиктивной аналитики.

2) Повышение экологических стандартов – анализ показал, что в ряде мегаполисов страны отмечается низкая эффективность работы очистных сооружений. Отчасти это вызвано отсутствием у предприятий стимула для модернизации оборудования и строительства новых объектов. Повышение экологических стандартов повлечет за собой и повышение штрафов за их нарушение.

3) Использование возобновляемых источников энергии и энергосбережение для сокращения расходов на электроэнергию.

4) Внедрение технологий безотходных производств – более современными моделями очистки воды на данный момент являются модели, предусматривающие безотходную очистку воды за счет переработки осадков и минералов, содержащихся в воде. Так, в дальнейшем производстве могут использоваться песок, азот и фосфор, биологические осадки.

5) Использование компактных и модульных решений по типу станций «Мегаполис» – эти решения позволяют осуществлять полную и безэмиссионную очистку воды в условиях отсутствия возможности или целесообразности подключения к центральным канализационным сетям.

6) Рециркуляция и повторное использование воды – внедрение технологий повторного использования очищенной воды в хозяйственных и производственных целях способствует снижению дефицита водных ресурсов и увеличению экономической отдачи инфраструктуры.

7) Интеграция экологических и экономических подходов – развитие инфраструктуры в области очистки воды невозможно осуществлять без учета тенденции к экологизации.

В связи с этим необходимо придерживаться научно обоснованного метода выбора технологий и реагентов, ориентированного на снижение вредного воздействия на окружающую среду и здоровье населения.

Заключение

Исследование показало, что вопрос экологической безопасности очистных сооружений в рамках инфраструктуры мегаполиса стоит достаточно остро в нашей стране. Высокий уровень износа очистных сооружений, устаревание технологий, низкая доля очищенной до нормативного уровня воды в целом по России и даже в крупных городах свидетельствуют о необходимости пересмотра политики развития в данной области. При этом проблема осложняется необходимостью значительных инвестиций для модернизации и строительства очистных сооружений, соответствующих современным стандартам качества, эффективности и экологической безопасности.

Тем не менее анализ опыта реализации подобных проектов показывает их высокую экономическую, социальную и экологическую эффективность: автоматизация процессов очистки воды, сокращение затрат на электроэнергию благодаря внедрению энергосберегающих технологий, снижение расходов на утилизацию отходов, сокращение экологических штрафов благодаря снижению выбросов запахов, повышение качества очистки, снижение эксплуатационных расходов, монетизация отходов.

По нашему мнению, в данном вопросе требуется комплексное решение и интеграция экономических аспектов управления объектами в области очистки воды с экологическими подходами и актуальными тенденциями экологизации инфраструктуры города.

Литература

1. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации: указ Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400 // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2021. № 27, ч. 2, ст. 5351.
2. «Ростовводоканал» реконструирует очистные сооружения к 2029 году [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rostov.kp.ru/online/news/5027281/> (дата обращения: 28.05.2025).
3. Алексеев Е.В. О защите водных ресурсов на урбанизируемых территориях. Роль автономных очистных сооружений // Экология урбанизированных территорий. 2018. № 3. С. 54-59.
4. В аэропорту Пулково модернизировали сооружения для очистки сточных вод [Электронный ресурс] // Окружающая среда Санкт-Петербурга. URL: <https://ecospeterburg.ru/2024/05/02/в-аэропорту-пулково-модернизировали/> (дата обращения: 28.05.2025).
5. В обновление очистных сооружений в районе пос. Витаминкомбинат инвестор вложит 1,3 млрд рублей [Электронный ресурс] // Администрация и городская Дума Краснодара. URL: <https://krd.ru/novosti/glavnye-novosti/v-obnovlenie-ochistnykh-sooruzheniy-v-rayone-pos-vitaminkombinat-investor-vlozhit-1-3-mlrd-rublej/> (дата обращения: 28.05.2025).
6. Герцберг Л.Я. Интеграция экономики и экологии для обеспечения эффективной экологической гармонизации городов // Градостроительство. 2020. № 5(69). С. 59-64.
7. Доля сточных вод, очищенных до нормативных значений, в общем объеме сточных вод, пропущенных через очистные сооружения. [Электронный ресурс] // ЕМИСС. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/43555> (дата обращения: 28.05.2025).
8. Коречков Ю.В., Тесленко И.Б., Кваша В.А. Институциональный подход к реализации инновационного проекта «Чистая вода» в регионах России // Теоретическая экономика. 2024. № 11 (119). С. 67-75.
9. Обновленные Люберецкие очистные сооружения соответствуют лучшим экологическим стандартам [Электронный ресурс] // Мосводоканал. URL: <https://mosvodokanal.ru/press/smi/13589> (дата обращения: 28.05.2025).
10. Паспорт ведомственного проекта «Модернизация канализационных очистных сооружений! [Электронный ресурс] // Департамент организации проектной деятельности администрации. URL: <https://dopd.krasnodar.ru/upload/iblock/09a/om1txrxa05t0z1smij13fnlqsmcnmh5l/Modernizatsiya-kanalizatsionnykh-ochistnykh-sooruzheniy.pdf> (дата обращения: 28.05.2025).
11. Приказ «Об утверждении в отношении общества с ограниченной ответственностью «БИОС» инвестиционной программы в сфере водоотведения на 2023-2025 годы [Электронный ресурс] // Официальный сайт Мэра Москвы. URL: https://www.mos.ru/upload/documents/docs/61f1382c21f35ec1b5bb27a3d5176d06/DPR-TD-595_23-hs7gb.pdf (дата обращения: 28.05.2025).
12. Пупырев Е.И. Сбор и очистка хозяйственно-бытовых сточных вод: критический обзор достигнутых результатов // Вестник МГСУ. 2019. № 11 (134). С. 1365-1407.
13. Пупырев Е.И., Шеломков А.С. Экономическое обоснование экологически безопасных технологий очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2014. № 1. С. 5-13.
14. Станции «Мегаполис» [Электронный ресурс] // ЭКОС Групп. URL: <https://www.ecosgroup.com/products/megapolis/> (дата обращения: 28.05.2025).
15. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] // Росстат. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 28.05.2025).
16. Хван М.С. Статистическое исследование экологической безопасности территорий: дисс. канд. эконом. наук. 08.00.12. Новосибирск, 2018. 215 с.