

УДК 330.15:338.12

EDN: CSHWRA

ЭКОНОМИКА ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА И ЗЕЛЁНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ МЕГАПОЛИСОВ

ЗИНЕВИЧ Николай Николаевич, кандидат военных наук, доцент, доцент кафедры Международной экономики, финансов и страхования

Академия труда и социальных отношений
119454, Россия, Москва, niknikzinevich@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0634-9257

AuthorID: 510757

ЛЕВАШОВ Сергей Анатольевич, аспирант

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
127055, Россия, Москва

Аннотация. В статье исследуются современные стратегии повышения экологической безопасности мегаполисов через призму экономической эффективности очистных сооружений и возможностей повторного использования воды. Автор предлагает концепцию интеграции принципов циркулярного использования водных ресурсов в систему водоочистки, основанную на экономическом анализе успешных кейсов (Сингапур, Копенгаген) и данных ЮНЕП. Особое внимание уделяется отечественным инновациям, таким как биореакторы с иммобилизованными микроорганизмами и мембранные технологии, позволяющие сократить энергопотребление на 30–40 %. Доказана экономическая целесообразность перехода к системам «нулевого сброса» с ежегодной экономией до 2,8 млрд руб. для города-миллионника.

Ключевые слова: циркулярная гидроэкономика, зелёные технологии, урбоэкология, иммобилизованные биокультуры, углеродный след водоподготовки.

© Зиневич Н.Н., Левашов С.А., 2025

CLOSED-LOOP ECONOMICS AND GREEN TECHNOLOGIES: INNOVATIVE APPROACHES TO WATER RESOURCES MANAGEMENT IN MEGACITIES

ZINEVICH Nikolay Nikolaevich, Candidate of Military Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Economics, Finance and Insurance

Academy of Labor and Social Relations
119454, Russia, Moscow, niknikzinevich@gmail.com

LEVASHOV Sergey Anatolyevich, PhD student
Moscow State Technological University "STANKIN"
127055, Russia, Moscow

Abstract. This article explores modern strategies for enhancing the environmental sustainability of megacities through the lens of cost-effective wastewater treatment and water reuse opportunities. The author proposes a framework for integrating circular water economy principles into water purification systems, based on an economic analysis of successful case studies (Singapore, Copenhagen) and UNEP data. Special attention is given to domestic innovations, such as bioreactors with immobilized microorganisms and membrane technologies, which reduce energy consumption by 30–40 %. The study demonstrates the economic viability of transitioning to “zero-discharge” systems, with potential annual savings of up to 2.8 billion RUB for a city of one million inhabitants.

Keywords: circular hydroeconomy, green technologies, urban ecology, immobilized biocultures, carbon footprint of water treatment.

© Zinevich N.N., Levashov S.A., 2025

ВВЕДЕНИЕ

По прогнозам экспертов ООН, к 2030 году в городах будет проживать более 65 % мирового населения. Прогнозируется, что почти весь прирост мирового населения, который будет составлять около 3 млрд человек, придется на городские районы, в результате чего в мире возникнет 100 новых мегаполисов с численностью более 5 млн человек.

На современном этапе развития в городах резко обостряются экологические проблемы, причем степень сложности этих проблем находится в прямой зависимости от величины города.

Города усиливают антропогенную нагрузку на природные экосистемы, оставляя так называемый «экологический след» – совокупность площадей продуктивных земель и акваторий, занятых как под производство необходимой для жизнеобеспечения населения продукции, так и под ассимиляцию городских отходов.

Например, «экологический след» Лондона, города площадью 0,17 млн га, где проживает 12 % населения Великобритании, составляет около 21 млн га. Это в 123 раза больше площади самого Лондона и эквивалентно площади всех продуктивных земель Великобритании. «Экологический след» города Ванкувера в Канаде почти в 174 раза превышает площадь самого города Ванкувера, в пределах его административных границ. Серьезную

угрозу для водных экосистем в мире представляет воздействие на реки, ручьи, водно-болотные системы, лагуны и прибрежную морскую среду урбанизация в процессе строительства новых городов, наполняющих их промышленными предприятиями и дальнейшее обусловленное жизненными процессами загрязнение. Глобальный тренд урбанизации, согласно данным ООН (2023 г.), привёл к увеличению «водного следа» мегаполисов на 58 % за последнее десятилетие. В мегаполисах на относительно небольшой территории сосредоточено значительное количество различных источников загрязнения (промышленные предприятия, транспорт, бытовые отходы). Это обуславливает интенсивность и неоднородность состава загрязнений природных вод.

Выбросы, особенно химических предприятий, приводят к загрязнению не только наземного и подземного водообмена, но, например, серная и азотная кислоты, которые содержатся в кислотных дождях, негативно действуют на флору, фауну и микроорганизмы водоёмов. Наша столица – Москва, например, ежегодно сбрасывает 2,4 км³ сточных вод, что сопоставимо больше с объёмом озера Неро. Традиционные методы очистки, основанные на механико-химических процессах, не соответствуют принципам наилучших доступных технологий (НДТ – закреплено в законе №7-ФЗ «Об охране окружающей среды») и в Водном кодексе РФ), поскольку:

- Потребляют до 3,5 кВт·ч/м³ (против 1,2 кВт·ч/м³ в мембранных биореакторах);

- Генерируют до 120 кг CO₂-эквивалента на тонну осадка (исследование IPCC, 2022).

Чтобы достигнуть лучших результатов в защите окружающей среды при соблюдении экономической целесообразности необходимо соблюдать ряд принципов НДТ в области очистки воды:

- Обязательный и постоянный учёт состояния водных объектов. При выборе конкретной технологии необходимо рассмотреть такие факторы, как тип водного объекта, поток воды для разбавления загрязняющих веществ, фоновый уровень загрязнения и категория водопользования.

- Эколого-экономическая эффективность. При определении НДТ важно учитывать, финансовые затраты удаления приведённой массы загрязнений в результате модернизации очистных сооружений.

- Экономически выгодно проводить разделение водных объектов на группы. Для наиболее охраняемых или уязвимых водных объектов требуется самая эффективная технология, для прочих - базовые требования к технологии очистки, а для экологически устойчивых - наименее затратная технология из отнесённых к НДТ.

- Экономически обоснована и узаконена система экологического менеджмента. Это современный и действенный подход к учёту приоритетов охраны окружающей среды при планировании и осуществлении деятельности организации.

Для решения этих проблем необходимо контролировать стоки и выбросы, стимулировать предприятия к установке эффективных очистных сооружений, озеленять городскую среду, заменять загрязняющий транспорт экологически чистым и так далее

МЕТОДОЛОГИЯ

Синтез экономического и экологического подходов к экологии городов предполагает рассмотрение процессов воспроизводства одновременно в двух средах: в сфере общественных экономических отношений и в природной среде.

Некоторые положения концепции синтеза экономики и экологии:

- Экономический рост рассматривается как система с двойной сферой. Она включает общественную и природную оболочки, которые определяют закономерности развития производства.

- Экономический рост в природной сфере ведётся с учётом взаимодействия экономических, экологических, биологических, физических законов развития природы и общества.

- Устойчивое развитие предполагает сбалансированное решение экономических и экологических проблем в едином комплексе.

Экономический рост в природной сфере базируется на принципе платности ресурсов. Они должны иметь свою цену, формируемую с учётом рентного характера.

- Социальные потребности удовлетворяются как за счёт затрат живого и овеществлённого труда на производство средств производства (социально-экономические потребности), так и без их применения (экологические потребности в воде, воздухе, солнечной энергии и т. д.).

- Часть ресурсов и средств производства имеет экологическую направленность. Качество окружающей природной среды определяет эффективность производства и экономические результаты.

Такой подход позволяет разработать приоритеты городской экологической политики, чтобы при минимуме средств достичь максимально большого эффекта относительно внешних условий (изменения цен на определённые ресурсы на рынке, изменения в структуре производства, изменения в структуре потребления).

По данным экспертов ЮНЕП (Программа ООН по окружающей среде), для жизнеобеспечения и удовлетворения потребностей населения 29 городов бассейна Балтийского моря используется территория, площадь

которой в 200 раз больше, чем общая площадь, которую непосредственно занимают эти города. Деятельность ЮНЕП включает в себя различные проекты в области атмосферы Земли, морских и наземных экосистем. Также ЮНЕП играет значительную роль в развитии международных конвенций в области экологии и охраны окружающей среды. ЮНЕП часто сотрудничает с государствами и неправительственными международными организациями. ЮНЕП часто спонсирует и содействует имплементации связанных с экологией проектов.

ЮНЕП определяет «зелёную» экономику как экономику с низкими выбросами углеродных соединений, которая эффективно использует ресурсы и отвечает интересам всего общества. Такой переход, по мнению экспертов ЮНЕП, способен обеспечить устойчивое развитие, заменить ископаемое топливо экологически чистой энергией и зелёными технологиями, уменьшить негативное воздействие на окружающую среду и климат. В докладе «Сточные воды: переход от проблемы к решению» ЮНЕП и Глобальная инициатива по очистке сточных вод (GWWI) рекомендуют правительствам и предприятиям рассматривать сточные воды как возможность для экономической модели замкнутого цикла, а не как проблему, от которой необходимо избавиться. Таким образом, экономическая составляющая концепции устойчивого развития человечества подразумевает оптимальное использование природных ресурсов и экологических технологий, включая добычу и переработку сырья, создание экологически приемлемой продукции, минимизацию, переработку и уничтожение отходов.

Для оценки эффективности предложена авторская модель, объединяющая:

- LCA-анализ (оценка жизненного цикла) технологической водоочистки предполагает оценку воздействия процессов, каких-либо продуктов производства, услуг на окружающую среду в течение всего жизненного цикла существования объекта. LCA-анализ касается экологических аспектов и потенциального воздействия на окружающую среду продуктов и процессов очистных сооружений. В частности, методология рассматривает взаимосвязь между качеством очистки сточных вод и энергетическими аспектами. Реальная цель данного анализа – это выработать подход, при котором воздействие на окружающую среду будет минимальным и экономически обоснованным. Распознавая «горячие точки» в жизненном цикле, организации могут сосредоточиться на областях, которые вносят значительный вклад в воздействие на окружающую среду, и работать над улучшениями. LCA-анализ поощряет экодизайн путём учёта экологических соображений при разработке продукта.

- Метод дисконтированных денежных потоков для расчёта ROI проектов модернизации. Этот метод используется для оценки текущей стоимости будущей прибыли, в том числе от вложений в бизнес-проекты. В оценке проектов модернизации экологии и очистки сточных вод с помощью этого метода рассчитывают чистый дисконтированный доход (ЧДД). Он определяется как сумма текущих эффектов за весь расчётный период, приведённая к начальному периоду времени.

Если чистый дисконтированный доход получен со знаком минус, то это свидетельствует о том, что издержки, связанные с реализацией экологического мероприятия, превышают экономию на платежах за загрязнение окружающей среды. Эффективность природоохранного мероприятия определяется как отношение ЧДД к внесённым капитальным вложениям.

ГИС-картографирование «горячих точек» загрязнения позволяет контролировать качество воздуха и воды, выявлять источники загрязнения. С помощью ГИС можно моделировать воздействие загрязняющих веществ, например, показывать, как грязный воздух или пребывание рядом с опасными свалками влияет на здоровье. Пример использования ГИС-картографирования «горячих точек» загрязнения – выявление мест с высокой

концентрацией фторидов в подземных водах северной Танзании. В ходе исследования использовались методы пространственной статистики и ГИС. Пример на территории нашего государства: корреляция между локациями ЦБК и заболеваемостью нефропатиями в Нижнем Новгороде, $R^2=0,73$).

Для создания базы данных «горячих точек» загрязнения можно использовать, например, программное обеспечение QGIS. Результаты мониторинга Росгидромета (2020–2024), отчёты ЮНЕП по замкнутому водопользованию приводят данные об аномалиях различных климатических переменных, агроклиматических условиях и опасных гидрометеорологических явлениях, а также о тенденциях современных изменений климата на территории России, в Северной полярной области и над Северным полушарием. В документе содержится призыв к миру обратить внимание на ряд возникающих проблем, которые могут негативно повлиять на состояние планеты и благополучие человечества, и принять соответствующие меры. Также в нём представлена информация о восьми важнейших глобальных изменениях, ускоряющих тройной планетарный кризис: изменение климата, утрата биоразнообразия и природных экосистем, загрязнение и отходы.

В мире эффективно в настоящее время широко используется географическая информационная система (ГИС), позволяющая интегрировано не только хранить и анализировать ареолы загрязнений воды и почвы, но и своевременно влиять на устранение этих загрязнений, контролируя до наступления серьёзных экологических проблем. Естественные загрязнения почвы тяжелыми металлами обнаруживаются повсеместно в городской среде, что связано с использованием транспорта объектов промышленности, а также с фоновым уровнем. Уязвимость водоносных горизонтов характеризуется обычно глубиной залегания грунтовых вод, влиянием зоны аэрации и гидравлической проводимостью. В результате государственные или местные органы власти в зависимости от шкалы примут необходимые меры для предотвращения или смягчения последствий загрязнения водоснабжения. С помощью ГИС была разработана карта для семи округов (Хиллсборо, Полк, Манати, Харди, Сарасота, Де-Сото и Шарлотт) во Флориде, на которой показан суммарный индекс для системы водоносных горизонтов Флориды, поверхностной системы водоносных горизонтов и других водоносных горизонтов. Разработанная карта представляет собой комбинацию нескольких слоёв, наложенных друг на друга, как показано на рисунке 1.

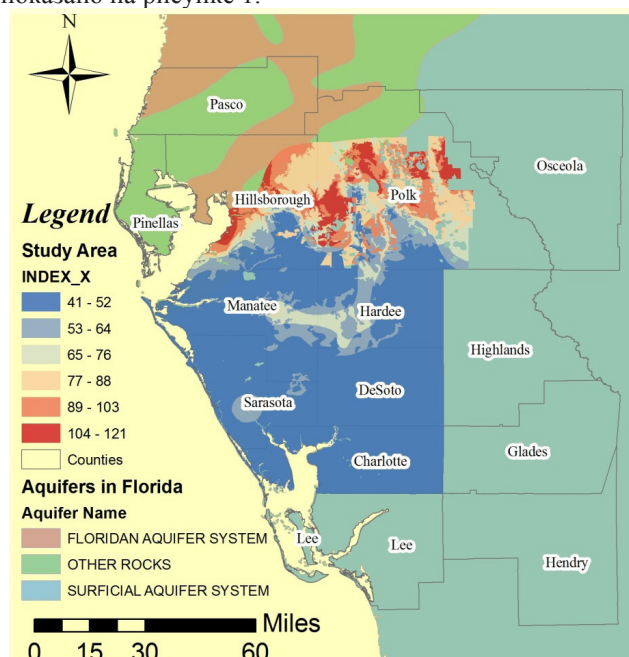


Рисунок 1 – Сводный индекс загрязнений для Западной Флориды*

* Синим цветом обозначена наименее уязвимая область водоносного горизонта. Красным цветом обозначена наиболее уязвимая область.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Экономика замкнутого цикла (Circular Economy, CE) в водном хозяйстве трансформирует традиционную линейную модель «забор – использование – сброс» в систему с многократным использованием ресурсов. Ключевые принципы в данной модели:

- Рециклинг воды (повторное использование сточных вод).
- Извлечение энергии и материалов (биогаз, удобрения).
- Экономическая рентабельность за счет интеграции в промышленные цепочки.

В стратегической перспективе промышленные предприятия, входящие в состав производственно-технологических цепочек, могут наращивать промышленный потенциал и становиться экономически более независимыми и рентабельными за счёт совместной реализации программ экологического цикла, координации направлений очистки воды, совместного финансирования программ научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по очистным сооружениям, рециклингу сточных вод и возможностям повторного использования в городах, на производствах и хозяйствах. Мировые мегаполисы демонстрируют успешные кейсы, среди которых выделяются проекты Сингапура (NEWater) и Копенгагена (Biofos).

1. Сингапур (проект NEWater): рециклинг 40 % сточных вод с рентабельностью 22 % за счёт продажи воды промышленности. Проект зарекомендовал себя положительно возможностью повторного использования воды в городе. Это уже позволило снизить зависимость государства от импорта водных ресурсов от стран-соседей, особенно из соседней Малайзии. В настоящее время бытовые и промышленные сточные воды поступают для начала в городские очистные сооружения, а потом – на установки системы NEWater, которые способны очищать воду в несколько ступеней:

- микрофильтрация с удалением мелких частиц и микроорганизмов с помощью специальных мембран;
- обратный осмос – это очистка воды от тяжёлых металлов, пестицидов и мелких загрязнителей;
- применение ультрафиолетового облучения позволяет воде расстаться с оставшимися вредными микроорганизмами и веществами.

Использование NEWater: с применением перечисленных этапов обработки на выходе вода становится безопасна для питья, однако большая часть, в настоящее время, используется в промышленности, особенно в секторах, где остро требуется чистая и высококачественная вода, например, на дорогом производстве полупроводниковых элементов электроники. Также этой водой дополняют водохранилища, смешивая её с водой из обычных безопасных источников для потребления в быту.

Известно, что в 2021 году власти Сингапура официально сообщали, что проект NEWater удовлетворяет 40 % потребностей страны в воде. Предполагается, что к 2060-му году уровень удовлетворения такой водой вырастет до 55 %.

2. Копенгаген (Biofos): когенерация биогаза из осадка покрывает 80 % энергозатрат очистных сооружений. В 2011 году на заводе Lynetten, принадлежащем BIOFOS и находящемся в центральной части региона Копенгаген, запустили установку по сжиганию осадка. В рамках проекта установили жидкостный сжигатель и современную систему очистки дымовых газов, а также добавили стадию конденсации дымовых газов.

Суть проекта: процесс утилизации осадка превратили из энергопотребляющего в энергопроизводящий.

Появилось избыточное тепло, которое стали использовать для системы центрального отопления, а также большое количество биогаза.

Принцип работы: основная часть высокотемпературного тепла от котла сначала идёт на предварительную сушку осадка, а оставшая часть, вместе с энергией от конденсации, используется для центрального отопления.

В результате детального анализа было принято очищать избыточный биогаз и использовать его напрямую для производства городского газа, который сегодня получают путём смешивания природного газа с воздухом.

ОБСУЖДЕНИЕ

Биоуголь из осадка (технология НИТУ «МИСиС»). Процесс включает следующие стадии:

- Сушка осадка с понижением влажности с 75 до 10 %. Осадок влажностью выше 75 % к термоутилизации не принимается.

- Проведение пиролиза или газификации осадка для получения биоугля.

- Сжигание пиролизного газа в горелочном устройстве с получением тепловой энергии.

- Очистка охлаждённых дымовых газов в орошаемом скруббере перед выбросом в атмосферу.

Биоуголь, полученный из осадка, может использоваться для улучшения сельскохозяйственных угодий, в качестве топлива или сорбента.

Данная технология предполагает:

- Снижение объёма отходов в 7 раз;

- Рыночная стоимость продукта: 12 000 руб./т.

Система хранения и доставки воды в штате Калифорния (США) California State Water Project (SWP) – проект, который позволяет хранить воду и распределять её среди городских и сельскохозяйственных потребителей в Северной Калифорнии, районе залива Сан-Франциско, долине Сан-Хоакин, Центральном побережье и Южной Калифорнии. 70 % воды идёт городским пользователям, 30 % – сельскохозяйственным.

Кроме этого, SWP играет важную роль в борьбе с изменением климата, помогает управлять водными ресурсами во время экстремальных явлений, таких как наводнения и засуха. Проект включает 36 хранилищ, 21 насосную станцию, гидроэлектростанций, насосно-генерирующие станции и примерно 705 миль каналов, туннелей и трубопроводов. Управляет проектом Департамент водных ресурсов Калифорнии.

Мембранные биореакторы (МБР) в Москве – комплекс оборудования и резервуаров, предназначенных для очистки сточных вод с применением погружных ультрафильтрационных мембран. МБР применяются для очистки сточных вод различного происхождения, включая хозяйственно-бытовые и поверхностные сточные воды, а также производственные сточные воды различных предприятий.

Преимущества данного метода представлены рядом научных исследований и апробаций, которые испытывают москвичи ежедневно на себе:

- Высокое качество очищенной воды. Мембраны задерживают мельчайшие взвешенные частицы, бактерии и вирусы, что приводит к получению воды высокого качества, соответствующей жёстким экологическим стандартам.

- Компактность и экономия пространства. МБР занимают значительно меньше места, так как не требуют больших отстойников и вторичных отстойников. Сокращение площади сооружений составляет до 60 %;

Стабильность работы при переменных нагрузках. МБР устойчивы к колебаниям входящих нагрузок по объёму и составу сточных вод.

Сокращение образования избыточного ила. В мембранных биореакторах концентрация биомассы выше, что ведёт к уменьшению образования избыточного активного ила.

Возможность повторного использования воды. Высокое качество очищенной воды позволяет приме-

нять её для технических нужд, орошения или даже в хозяйственно-бытовых целях после дополнительной доочистки.

Энергоэффективность. Несмотря на использование мембран, современные МБР отличаются низким энергопотреблением благодаря оптимизированным технологиям аэрирования и повышенной эффективности очистки (таблица 1).

Таблица 1 – Экономический эффект (для города с населением 1 млн человек)

№ п/п	Параметр	Традиционные технологии	Модернизированные системы
1.	Капитальные затраты	15 млрд руб.	18 млрд руб.
2.	Эксплуатационные затраты	2,1 млрд руб./год	1,3 млрд руб./год
3.	Срок окупаемости	-	5,2 года

Экономическая эффективность только на штрафах за сбросы составляет около 1,2 млрд руб./год.

На базисе рассмотренного материала в заключение предлагается трехуровневая модель управления водными ресурсами:

- Микроуровень: умные сенсоры для мониторинга качества воды в реальном времени (IoT).

- Мезоуровень: кластерная обработка стоков промышленных зон.

- Макроуровень: межрегиональные системы водообмена (аналог California State Water Project).

Правовые инициативы:

- Введение «зелёных» тарифов на воду рециклингового происхождения.

- Tax credit для предприятий, внедряющих МБР.

ВЫВОДЫ

Переход к экономике замкнутого цикла в сфере водоочистки способен привести цивилизованное общество к увеличению ВВП мегаполисов на 0,7–1,2 % за счёт создания новых рынков очистки сточных вод (биоуголь, рецикловая вода), возможностей повторного использования воды и существенно снизить нагрузку на водные объекты до 90 % к 2036 году.

Разработка и принятие к реализации федеральной программы «Циркулярный мирохозяйственный комплекс» с бюджетом 340 млрд руб. до 2030 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. НИТУ «МИСиС». Технологии переработки осадков сточных вод. 2024.
2. Евилевич А.З., Евилевич М.А. Утилизация осадков сточных вод. Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение., 1988. – 248 с.
3. UNEP. Wastewater: From Problem to Resource. 2023.
4. Благоразумова, А.М. Обработка и обезвреживание осадков городских сточных вод: учебное пособие // изд. Лань. – М. – 2020. – С. 208
5. Доронина О.Д. Уязвимость человека – основной показатель устойчивого развития (монография) // изд. LAP Lambert Academic Publishing, International Book Market Service Ltd. – Germany. – 2019. – С. 315
6. IPCC. Climate Change and Water Systems. 2022.
7. Росгидромет. Доклад о состоянии водных ресурсов РФ. 2023.
8. Айханова, Г. Экология и экономика поиск баланса между ростом и устойчивым развитием / Г. Айханова, А. Шихимульев, М. Пирджиков // А Posteriori. – 2025. – № 2. – С. 14-16. – EDN XLHUFJ.
9. Лапковский, А. С. Экологизация городской инфраструктуры и формирование устойчивой городской среды / А. С. Лапковский, Ю. А. Момоток, А. А. Нестерович // Интеграция науки, техники и общества. Научная мысль и технологические возможности : Материалы Международной научно-практической конференции, Краснодар, 28 января 2025 года. – Краснодар: ИП Алзидан М., 2025. – С. 243-248. – EDN HWOQZN.
10. Худайбердиева, Н. Голубая экономика»: потенциал морских ресурсов в развитии устойчивой экономики / Н. Худайбердиева, М. Селимов, К. Оразмухамедов // Интеллектуальный капитал общества как драйвер инновационного развития науки : Сборник статей по итогам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 04 февраля 2025 года. – Стерлитамак: Общество с ограниченной ответственностью «Агентство международных исследований», 2025. – С. 189-192. – EDN XIQFRX.
11. Тимергалеев, Д. Б. Определение водно-зелёного каркаса в законо-

ательстве России, Канады и Европейского союза / Д. Б. Тимергалиев, Э. А. Кузнецова // Современные проблемы земельно-имущественных отношений, урбанизации территории и формирования комфортной городской среды : Сборник докладов Международной научно-практической конференции, Тюмень, 06 декабря 2024 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2025. – С. 358-362. – EDN FTWWRN.

12. Ал Сехмарани, М. Х. Зеленая экономика и ее влияние на экономическое развитие / М. Х. Ал Сехмарани, В. И. Ксенофонтов // Актуальные вопросы формирования эффективных систем управления субъектами территориальных воспроизводственных комплексов в условиях необходимости обеспечения экономического суверенитета страны : Материалы Международной научно-практической конференции, Краснодар, 19 января 2024 года. – Краснодар: Краснодарский ЦНТИ - филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2024. – С. 20-25. – EDN QWEOZO.

13. Инновации и «зелёные» технологии : IV Всероссийская научно-практическая конференция : сборник материалов и докладов, Самара, 09 ноября 2023 года. – Самара: Самарская областная универсальная научная библиотека, 2024. – 230 с. – ISBN 978-5-6046891-5-8. – EDN ZABIQM.

REFERENCES

1. NUST MISIS. Technologies for processing sewage sludge. 2024.
2. Evilevich A.Z., Evilevich M.A. Utilization of sewage sludge. L.: Stroyizdat, Leningrad branch., 1988. – 248 p.
3. UNEP. Wastewater: From Problem to Resource. 2023.
4. Razdorazumova, A.M. Treatment and dewatering of urban wastewater sediments: a textbook // ed. Lan. – M. – 2020. – P. 208
5. Doronina O.D. Human vulnerability – the main indicator of sustainable development (monograph) // ed. LAP Lambert Academic Publishing, International Book Market Service Ltd. – Germany. – 2019. – p. 315
6. IPCC. Climate Change and Water Systems. 2022.
7. Roshydromet. Report on the state of water resources of the Russian Federation. 2023.
8. Aykhanova, G. Ecology and economics, the search for a balance between growth and sustainable development / G. Aykhanova, A. Shikhimkulyev, M. Pirdjiov // A Posteriori. – 2025. – No. 2. – pp. 14-16. – EDN XLHUFJ.
9. Lapkovsky, A. S. Ecologization of urban infrastructure and the formation of a sustainable urban environment / A. S. Lapkovsky, Yu. A. Momotok, A. A. Nesterovich // Integration of science, technology and society. Scientific thought and technological possibilities : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Krasnodar, January 28, 2025. Krasnodar: IP Alzidan M., 2025. pp. 243-248. EDN HWOQZN.
10. Khudaiberdieva, N. Blue Economy: the potential of marine resources in the development of a sustainable economy / N. Khudaiberdieva, M. Selimov, K. Orazmukhamedov // Intellectual capital of society as a driver of innovative development of science : A collection of articles on the results of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, Irkutsk, February 04, 2025. – Sterlitamak: Limited Liability Company "Agency for International Studies", 2025. – pp. 189-192. – EDN XIQFRX.
11. Timergaliev, D. B. Definition of the water-green framework in the legislation of Russia, Canada and the European Union / D. B. Timergaliev, E. A. Kuznetsova // Modern problems of land and property relations, urbanization of the territory and the formation of a comfortable urban environment : Collection of reports of the International Scientific and Practical Conference, Tyumen, December 06, 2024. Tyumen: Tyumen Industrial University, 2025. pp. 358-362. EDN FTWWRN.
12. Ал Сехмарани, М. Х. Green economy and its impact on economic development / М. Х. Ал Сехмарани, В. И. Ксенофонтов // Actual issues of forming effective management systems for subjects of territorial reproductive complexes in the context of the need to ensure the economic sovereignty of the country : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Krasnodar, January 19, 2024. – Krasnodar: Krasnodar Central Research Institute - branch of the Federal State Budgetary Institution "REA" of the Ministry of Energy of Russia, 2024. – pp. 20-25. – EDN QWEOZO.
13. Innovations and "green" technologies: IV All-Russian Scientific and Practical Conference : collection of materials and reports, Samara, November 09, 2023. Samara: Samara Regional Universal Scientific Library, 2024. 230 p. ISBN 978-5-6046891-5-8. EDN ZABIQM.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Заявленный вклад авторов:

Н. Н. Зиневич – постановка проблемы исследования; научное руководство; научная доработка текста.

С. А. Левашов – формирование основной концепции; формулирование результатов исследования и выводов; проведение расчётов; подготовка иллюстраций и графических результатов исследования; первоначальный вариант текста статьи.

The stated contribution of the authors:

N. N. Zinevich – formulation of the research problem; scientific guidance; scientific revision of the text.

S. A. Levashov – formation of the basic concept; formulation of research results and conclusions; calculations; preparation of illustrations and graphical research results; initial version of the text of the article.

Received date: 22.04.2025

Approved date: 06.05.2025

Accepted date: 30.06.2025