

Объекты историко-культурного наследия должны быть включены в туристские маршруты, в том числе пешеходные и велосипедные, обеспечены подъездными путями и информационной инфраструктурой.

При выборе объемно-планировочных и стилистических решений создаваемых туристско-рекреационных объектов и элементов благоустройства необходимо придерживаться традиционных материалов и композиционных приемов, согласовывая элементы антропогенной среды с природным окружением.

**Заключение.** В результате выполненных исследований было установлено, что территории, прилегающая к Гродненскому водохранилищу имеет хороший туристский потенциал. Для его развития необходимо комплексное освоение территорий с развитием транспортной, инженерной и экологической инфраструктуры.

### Список цитированных источников

1. Оценка воздействия на окружающую среду Гродненской ГЭС на р. Неман (ОВОС) // ЦНИИКИВР — Минск, 2017 — 52 с.
2. Методика оценки туристского потенциала исторических фортификационных сооружений / А. И. Кароза // Вестник Брест. гос. техн. ун-та. — 2017. — № 1 : Строительство и архитектура. — С. 49–51.
3. Лакіза В., Абухоўскі В., Мігаль В., Археалагічныя разведкі ў басейне Немана // Гістарычна-археалагічны зборнік. — Мінск, 2004. — № 19. — С.276–287.
4. Динамика береговых русловых, наливных и озерных водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. — Минск : Право и экономика, 2015. — 202 с.

УДК 628.544(043.3)

## АНАЛИЗ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ РЕАГЕНТОВ И ОЗОНА ДЛЯ ДЕЗИНФЕКЦИИ СООРУЖЕНИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

*Комаров М. А.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Специалист международного информационно-аналитического центра трансфера технологий, БГТУ, Минск, РБ, [takkom1995@gmail.com](mailto:takkom1995@gmail.com)

<sup>2</sup>Старший преподаватель кафедры «Водоснабжение и водоотведение», БНТУ, Минск, РБ, [takkom1995@gmail.com](mailto:takkom1995@gmail.com)

**Аннотация.** В данной работе проведен сравнительный анализ экологического воздействия различных дезинфицирующих веществ, включая гипохлорит натрия, гипохлорит кальция, хлорную известь, хлорамин и озон. Исследование основано на методике оценки жизненного цикла, результаты которого показывают, что озон является наиболее экологически безопасным вариантом дезинфекции.

**Ключевые слова:** Дезинфекция, воздействие на окружающую среду, жизненный цикл, озон, гипохлорит натрия, гипохлорит кальция, хлорная известь, хлорамин.

## LIFE CYCLE ANALYSIS OF CHLORINE-CONTAINING REAGENTS AND OZONE FOR DISINFECTION OF WATER SUPPLY FACILITIES

*Kamarou M. A.*

*Abstract.* Paper presents a comparative analysis of the environmental impact of various disinfectants, including sodium hypochlorite, calcium hypochlorite, bleaching powder, chloramine, and ozone. The study is based on the life cycle assessment methodology, the results of which show that ozone is the most environmentally friendly disinfection option.

**Keywords:** Disinfection, environmental impact, life cycle, ozone, sodium hypochlorite, calcium hypochlorite, bleaching powder, chloramine

**Введение.** Современные технологии дезинфекции воды широко применяют хлорсодержащие соединения, такие как гипохлорит натрия, гипохлорит кальция, хлорная известь и хлорамин [1–3]. Эти вещества эффективно уничтожают микроорганизмы, но их применение связано с образованием токсичных побочных продуктов, оказывающих негативное воздействие на экосистемы и здоровье человека. В частности, остаточные хлорсодержащие соединения могут накапливаться в водоемах, изменяя их химический состав и влияя на биоразнообразие. В качестве альтернативы рассматривается применение озона, который обладает высокой окислительной способностью и способен уничтожать широкий спектр патогенов без образования стойких загрязняющих веществ [4–6]. Однако озон требует значительных энергетических затрат на генерацию, что также влияет на его экологический баланс [7–10].

Цель данного исследования — провести сравнительный анализ экологического воздействия хлорсодержащих дезинфицирующих веществ и озона, используя методику оценки жизненного цикла.

**Результаты и обсуждение.** Результаты анализа показали, что наибольшее воздействие на окружающую среду оказывают гипохлорит кальция и хлорная известь. Их производство сопровождается значительными выбросами  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Cl}_2$  и  $\text{NO}_x$ , что негативно сказывается на атмосфере и водных экосистемах. Попадание этих соединений в атмосферу приводит к образованию кислотных дождей, которые, в свою очередь, негативно воздействуют на почвы, растительность и водоемы. Кроме того, производство сопровождается образованием промывных вод с высокой концентрацией солей и нерастворимых примесей, что усложняет их очистку и утилизацию. Эти дезинфицирующие вещества также требуют обязательной утилизации отработанных растворов, поскольку при сбросе они могут привести к хлорированию органических соединений в воде с образованием потенциально канцерогенных побочных продуктов, таких как тригалометаны.

Гипохлорит натрия продемонстрировал меньшую нагрузку на окружающую среду по сравнению с гипохлоритом кальция. Его производство связано с электролизом раствора NaCl. Однако в процессе получения гипохлорита натрия все же образуется хлор, а также выделяется водород, требующий безопасной утилизации. Однако, гипохлорит натрия приводит к образованию сточных вод с высокой концентрацией остаточного хлора, который может вступать в реакции с органическими веществами в воде, формируя токсичные соединения. Перед сбросом сточные воды требуют специальной обработки, что увеличивает эксплуатационные расходы на их использование.

Хлорамин характеризуется относительно низким содержанием активного хлора (18–25%), что снижает его антисептическую активность по сравнению с другими хлорсодержащими реагентами. Однако его основное преимущество заключается в более низком уровне образования канцерогенных тригалометанов, что делает его потенциально более безопасным для использования в системах водоснабжения. В то же время производство хлорамина сопровождается образованием вредных побочных продуктов, включая органические соединения, содержащие серу и азот. Эти вещества могут оказывать токсическое воздействие на водные организмы и требовать дополнительных мер очистки. Кроме того, использование хлорамина может вызывать коррозию водопроводных труб, что увеличивает затраты на их обслуживание и ремонт.

Озон продемонстрировал наименьшее воздействие на окружающую среду. Его генерация происходит непосредственно на месте использования, что исключает этапы транспортировки и хранения химических веществ, а также предотвращает образование отходов, характерных для хлорсодержащих реагентов. Озон является мощным окислителем и эффективно уничтожает широкий спектр микроорганизмов, включая бактерии, вирусы и простейшие, без образования стойких токсичных соединений. Время его полураспада в воде составляет всего 20–40 минут, после чего он разлагается до кислорода, не оставляя следовых загрязняющих веществ. Это значительно снижает риск загрязнения водных объектов и делает озон одним из наиболее безопасных дезинфицирующих агентов.

Общий анализ показал, что экологическая нагрузка дезинфицирующих веществ уменьшается в следующем порядке: гипохлорит кальция > хлорная известь > хлорамин > гипохлорит натрия > озон.

**Заключение.** Результаты исследования подтверждают, что хлорсодержащие дезинфицирующие вещества оказывают большее негативное воздействие на окружающую среду. Наибольший ущерб связан с производством гипохлорита кальция и хлорной извести, тогда как гипохлорит натрия и хлорамин имеют умеренное воздействие.

Использование озона в качестве альтернативного дезинфицирующего средства позволяет снизить экологическую нагрузку за счет отсутствия стойких загрязняющих веществ. Однако его широкое применение требует дальнейших разработок, направленных на снижение энергозатрат и минимизацию выбросов оксидов азота.

## Список цитированных источников

1. Romanovski V. et al. Comparative analysis of the disinfection efficiency of steel and polymer surfaces with aqueous solutions of ozone and sodium hypochlorite //Water. — 2024. — Т. 16. — №. 5. — С. 793.
2. Поспелов А. В. и др. Анализ технических аспектов дезинфекции поверхностей водными растворами озона и гипохлорита натрия //Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. — 2024. — №. 2. — С. 87–95.
3. Поспелов А. В. и др. Сравнительный анализ эффективности дезинфекции поверхностей в водных растворах озона и гипохлорита натрия //Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. — 2024. — Т. 36. — №. 1. — С. 94–99.
4. Поспелов А. В. и др. Коррозия нержавеющей стали в дезинфицирующих растворах //Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. — 2023. — №. 1 (33). — С. 90–93.
5. Поспелов А. В. и др. Коррозия углеродистых сталей в дезинфицирующих растворах //Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. — 2022. — №. 14. — С. 89–93.
6. Романовский В. И., Гуринович А. Д., Лихавицкий В. В. Растворимость озона в воде по высоте столба жидкости //Водоочистка. — 2017. — №. 2. — С. 36–41.
- 7 Математическое описание процесса растворения озона по высоте столба жидкости / Романовский В. И., Лихавицкий В. В., Красковский С. В. // Наука — образованию, производству, экономике: материалы XXII (69) региональной науч.-практ. конф. преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, г. Витебск, 9–10 февраля 2017 г.: в 2 т. / Витебский гос. ун-т им. П. М. Машерова; редкол: И. М. Прищепа (гл. ред.) [и др.]. — Витебск, 2017. — Т. 1. — С. 29–31.
- 8 Романовский, В. И. Техничко-экономический анализ технологий дезинфекции сооружений водоснабжения с помощью озона / В. И. Романовский, С. В. Красковский // Наука — образованию, производству, экономике : материалы 15-й Международной научно-технической конференции. — Минск : БНТУ, 2017. — Т. 1. — С. 217.
- 9 Рымовская, МВ Дезинфекция сооружений водоснабжения активным хлором и озоном/МВ Рымовская, ВИ Романовский//Технология органических веществ: тезисы докладов 80-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1–12 февраля 2016 г./Белорусский государственный технологический университет; [гл. ред. ИМ Жарский]. — Минск: БГТУ, 2016. — С. 74.
- 10 Романовский, В.И. Экономическое обоснование технологии дезинфекции сооружений водоснабжения с использованием озона / В. И. Романовский, Е. В. Крышилович // Экономика глазами молодых: материалы VIII междунар. экон. форума, Минск, 19–20 июня, 2015 / Белорусский государственный аграрный технический университет; редкол.: Г. А. Короленок [и др.]. — Минск, 2015. — С. 267–269.