

УДК 504

## МЕТОДЫ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

**Бородин П.М., Бородулина А.В., Сибирцев Д.Д.**

*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет»*

В статье проанализированы методы обеззараживания сточных вод, их преимущества и недостатки. На примере Санкт-Петербурга рассматриваются методы, позволяющие помимо очистки, минимизировать вредное воздействие на водную биоту в процессе последующего сброса стоков в водоемы Санкт-Петербурга и Ленинградской области. В тексте статьи проанализированы процессы хлорирования, дехлорирования, озонирования, обработки стоков ультрафиолетовым и гамма-излучением.

**Ключевые слова:** сточные воды, обеззараживание, канализация, загрязняющие вещества, хлорирование, озонирование.

## METHODS FOR DECOMPOSITION OF URBAN WASTEWATER

**Borodin P.M., Borodulina A.V., Sibirtsev D.D.**

In the article analyzes the methods of disinfection of wastewater, their advantages and disadvantages. Using the example of St. Petersburg, effective methods of disinfection are considered, which allow, in addition to cleaning, to minimize the harmful effects on aquatic biota during the subsequent discharge of wastewater into the water bodies of St. Petersburg and the Leningrad Region. The processes of chlorination, dechlorination, ozonation, wastewater treatment with ultraviolet and gamma radiation are considered.

**Keywords:** wastewater, disinfection, sewage, pollutants, chlorination, ozonation.

**Постановка проблемы.** В первую очередь, вопрос качества очистки сточных вод влияет на безопасность жизни населения России и всего мира. Большое количество образуемых сточных вод, а также постоянное появление новых загрязняющих веществ, химических соединений, попадающих в сточные воды, обосновывает актуальность развития теоретико-методологических основ обеззараживания различного вида стоков, попадающих в городскую систему канализации.

**Цель исследования.** Данная статья посвящена исследованию существующих методик обеззараживания сточных вод, преимуществ и недостатков каждого из методов и их результативности в очистке и улучшении качества воды.

**Исследование.** В процессе функционирования системы водоснабжения Санкт-Петербурга, в канализационные сети поступают сточные воды различного состава и степени загрязнения.

---

Система водоотведения города представляет собой комплекс сооружений, предназначенный для приема и отведения бытовых, промышленных и поверхностных сточных вод [6]. Протяженность канализационных сетей в г. Санкт-Петербурге на сегодняшний день составляет 8 980,2 км, общая протяженность тоннельных коллекторов – 270,7 км [8]. Главной составляющей петербургской канализации являются тоннельные коллекторы – основные магистрали для транспортировки сточных вод к очистным сооружениям. По итогам 2017 года, среднесуточное количество очищенных сточных вод составило 2,2 млн. кубических метров в сутки [8].

Категории сточных вод делятся в соответствии со следующими показателями: состав сточных вод, их происхождение и показатели загрязнителей. По природе загрязнения разделяют сточные воды хозяйственно-бытовые, производственные и поверхностные. Классификация сточных вод по видам представлена в таблице 1.

Таблица 1. Виды сточных вод

Виды сточных вод	Состав загрязнений	Концентрация загрязнений
Хозяйственно – бытовые	органические в нерастворенном, коллоидном и растворенном состояниях	Зависит от нормы потребления, т.е. степени разбавления загрязнений водопроводной сети
Производственные: - загрязненные - условно чистые	органические, минеральные и их смесь	Зависит от характера производства, вида выпускаемой продукции, особенностей технологического процесса производства
Атмосферные (поверхностные): - дождевые - талые	преимущественно минеральные, небольшое количество органических	Зависит от места оборудования осадков, продолжительности и интенсивности осадков

Хозяйственно-бытовые сточные воды подразделяются на фекальные (от туалетов) и хозяйственные (образуются в результате использования раковин, умывальников, ванн, душевых, прачечных, бань, предприятий общественного питания, бытовых помещений промышленных предприятий и др.). Производственные сточные воды делятся на загрязнённые и условно чистые. Поверхностный сток включает в себя дождевой сток и талый, а также воды от поливки территории предприятий, улиц, стоки от фонтанов, дренажные воды. Поверхностный сток поступает в канализацию неравномерно, особой группой выделяют поверхностный сток, образующийся на территориях промышленных предприятий. В зависимости от содержания в стоке загрязняющих веществ, он может быть близок к производственному стоку [7].

В связи с необходимостью очистки используются различные методы обеззараживания сточных вод, поступающих на очистные сооружения Санкт-Петербурга и Ленинградской области [2]:

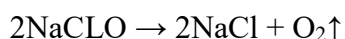
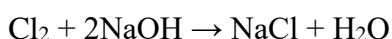
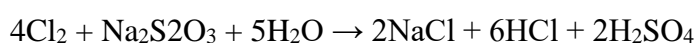
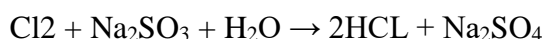
- Обеззараживание сточных вод хлорсодержащими реагентами
- Дехлорирование
- Озонирование сточных вод
- Обеззараживание сточных вод ультрафиолетовым излучением и ускоренными электронами
- Обеззараживание стоков гамма-излучением

**Хлорирование.** В процессе обеззараживания, воду обрабатывают хлором в газообразном виде или различными препаратами, содержащими активный хлор. Активный хлор – это хлор, входящий в состав хлорсодержащих соединений (хлорная известь ( $\text{CaCl}_2$ ), хлорит ( $\text{NaClO}_2$ ) и гипохлорит натрия ( $\text{NaClO} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), и др.) и способный при определенных условиях выделять эквивалентные количества йода из водных растворов йодида калия; это растворенный молекулярный хлор и его соединения – диоксид хлора, хлорамины, органические хлорамины, гипохлориты и хлориты [5].

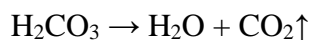
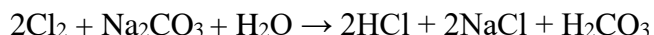
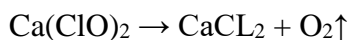
Выраженность бактерицидного эффекта, оказываемого хлором, в большой степени зависит от его начальной дозы и продолжительности контакта с водой. Продолжительность контакта должна составлять не менее 30 минут, от данного времени напрямую зависит бактерицидное действие. При этом, на инактивацию бактериальных клеток расходуется незначительная часть хлора, вводимого в воду, большая же часть вступает в реакцию с различными загрязнителями, находящимися в воде. Количество хлора определяется хлоропоглощаемостью воды, которая является показателем степени загрязнения органическими соединениями.

За счет хлорирования достигается полная очистка стоков от таких бактерий, как энтерококки, фекальные стрептококки, бактериофаги и сальмонеллы.

**Дехлорирование.** Согласно требованиям ГОСТ 4245-72 [1], сточные воды, которые сбрасываются в водоем-приемник в черте населенного пункта, не должны содержать активного хлора, в связи с чем необходимо проводить процедуру дехлорирования. Как правило, дехлорирование осуществляется химическим путем с введением в воду сульфита ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) или тиосульфата ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) натрия, соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) или гидроксидов натрия ( $\text{NaOH}$ ) и кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  [3]:



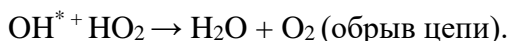
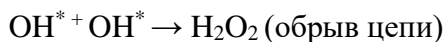
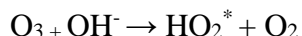
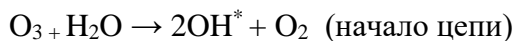
## ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА



Из приведенных выше реакций можно сделать вывод, что наиболее оптимально использовать для дехлорирования такие вещества, как гидроксиды натрия и кальция, поскольку при этом в воде повышается содержание растворенного кислорода, в то время как использование соды сопровождается увеличением концентрации углекислоты.

Сооружения для дехлорирования по своему устройству схожи конструктивно и с технологической точки зрения с сооружениями для хлорирования, а продолжительность контакта химических веществ с водой должна составлять 10 минут.

**Озонирование.** Озон является аллотропной модификацией кислорода, при нормальных условиях представляет собой синий газ с яркой окраской и характерным запахом, который ощущается при концентрации газа  $10^{-7} - 10^{-8}\%$ . В жидком агрегатном состоянии озон представляет собой непрозрачную жидкость темно-синего цвета, а в твердом – кристаллы с ярко выраженными иглами. При больших концентрациях озон взрывоопасен, но при содержании его в воздухе и кислородных смесях не более 10%, не представляет такой угрозы. Разложение озона происходит по радикальному механизму, который можно представить следующим образом [3]:



Благодаря озонированию, помимо обесцвечивания, устранения привкусов и запахов в воде, можно достичь также и ее обеззараживания, что происходит за счет высокой окислительной способности озона. Преимущество заключается в том, что в воду при взаимодействии с озоном не выделяются посторонние примеси и вредные химические соединения. Озон эффективен для обеззараживания и очистки стоков от пахнущих веществ биологического происхождения, железа, марганца, сероводорода, фенолов, пестицидов, нефтепродуктов и синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), что было подтверждено опытом применения озона на станциях водоподготовки [4].

Рассмотрим показания к применению озона в обеззараживании стоков:

- Невозможность применения хлора
-

- Необходимость улучшения качества воды помимо обеззараживания
- Предотвращение образования канцерогенов в результате хлорирования
- Необходимость дехлорирования и недопустимое содержание хлора

Благодаря использованию озона, происходит уменьшение количества сбрасываемых в водоемы канцерогенных хлорорганических соединений.

**Обеззараживание ультрафиолетовым излучением.** Данный метод является безреагентным, для него используют бактерицидные УФ-лучи с длиной волны от 205 до 315 нм. В данном диапазоне длины луча, ультрафиолетовое излучение обладает биоцидным действием на вирусы, бактерии и споры грибов. Максимально бактерицидное действие достигается при длине волны в 250-290 нм. Обеззараживание достигается за счет повреждения молекул ДНК и РНК микроорганизмов, находящихся в сточных водах. Это происходит за счет фотохимического воздействия лучистой энергии, которое влечет за собой разрыв, или же изменение химической связи органической молекулы. Для расчёта эффективности УФ-луча пользуются формулой  $D=IT$ , где  $D$  – доза облучения ( $\text{мДж}/\text{см}^2$ ), которая есть мера бактерицидной энергии, сообщенной микроорганизмам,  $I$  – интенсивность ( $\text{МВт}/\text{см}^2$ ), и время облучения –  $T$  (с). Микроорганизмы отличаются объемом необходимой для инактивации дозы облучения. В таблице 2 представлены данные о чувствительности некоторых микроорганизмов, содержащихся в стоках, к ультрафиолетовому излучению [3].

Таблица 2. Чувствительность микроорганизмов к УФ-излучению

Вид микроорганизмов	Доза облучения, необходимая для инактивации 9,9% микроорганизмов, находящихся в стоках, $\text{мДж}/\text{кв. см}$
<i>Shigella flexneri</i>	5,2
<i>Shigella dysenteriae</i>	8,8
<i>Salmonella paratyphi</i>	6,1
<i>Salmonella typhi</i>	7,5
<i>Proteus vulgaris</i>	7,8
<i>Staphylococcus aureus</i>	7,8
<i>Escherichia coli</i>	6,0
<i>Virus poliomyelitis</i>	6,0
<i>Vibrio cholerae</i>	6,5

Ультрафиолетовому излучению присущи следующие положительные санитарно-технологические характеристики [3]:

- Для обеззараживания необходимо минимальное по продолжительности время контакта ультрафиолетового излучения с водой,
- Использование ультрафиолета исключает образование токсичных веществ и канцерогенов,

- Отсутствие необходимости хранения опасных веществ, таких как хлор
- Т.к. ультрафиолет не влечет за собой пролонгированное биоцидное действие, не наносится вред совокупности водных биосистем.

Источниками излучения выступают ртутно-кварцевые и ртутно-аргоновые лампы при изготовлении которых используется увиолетовое стекло, которое, благодаря отсутствию в нем оксидов  $Fe_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $V_2O_3$  и сульфидов тяжелых металлов, имеющих свойство поглощать ультрафиолетовых лучей, повышенную прозрачность в области УФ-спектра.

Помимо вышеперечисленного, положительный аспект использования данного метода очистки стоков, уже упоминавшийся авторами статьи, – отсутствие необходимости введения в воду химических реагентов, что позволяет проводить обеззараживание без изменения физико-химического состава загрязнений. Отрицательными сторонами данного метода выступает его высокая энергозатратность (расход электроэнергии составляет от 50 до 500 Вт\*ч/куб. м), что сильно сокращает возможности его использования и отсутствие методики объективного контроля эффективности обеззараживания.

**Обеззараживание гамма-излучением.** Облучение сточных вод приводит к гибели микробных клеток не только за счет прямого действия облучения, но и за счет окисления биомолекул клеток продуктами радиолиза воды. В качестве источников гамма-излучения используются отходы атомной промышленности: неразделенные продукты ядерного деления, отработанные тепловыделяющие элементы и радиационные контуры, которые являются самым дешевым источником радиоактивного излучения. К недостаткам данного метода можно отнести сложность конструктивного оформления технологических процессов, необходимость высокой степени биологической защиты обслуживающего персонала и окружающей среды.

**Выводы.** Обеззараживание сточных вод является обязательной частью процесса их обработки. На основании проведенного в статье исследования, для достижения наиболее эффективного результата необходимо использовать подходящий для различных загрязнений метод, выбор которого зависит от классификации загрязняющих веществ и от располагаемых предприятием ресурсов, которые необходимо будет затратить на проведение очистки. Наиболее экономичным с точки зрения финансовых затрат является метод хлорирования, но, по сравнению с другими методами, он оказывает наиболее негативное воздействие на окружающую среду в связи со сбросом в водоем образующихся при хлорировании активного хлора и галогенизированных соединений. Наиболее перспективным методом обеззараживания стоков можно считать УФ-обработку сточных вод, что связано с рекреационным значением Невской губы и необходимостью сохранения нереста ценных пород рыб, обитающих в данной акватории.

---

Достаточно высокая стоимость использования такого метода, при принятии решения о его использовании требует оценки величины предельно допустимого содержания вредных веществ и экономического ущерба, наносимого водоему-приемнику сбросом сточных вод.

### Список литературы

1. ГОСТ 4245-72. Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов М.: ФГУП Стандартинформ, 2010.
  2. Алексеев Л.С. Контроль качества воды. Учебник, 4-е изд., перераб. и дополн. М.: ИНФРА-М, 2018. — 159 с.
  3. Водоотведение и очистка сточных вод Санкт-Петербурга / Коллектив авторов. СПб: Изд-во «Новый журнал», 2002.
  4. Отведение и очистка сточных вод Санкт-Петербурга / Коллектив авторов. СПб: Изд-во «Новый журнал», 2002 – 683 с.
  5. В Санкт-Петербурге снижается водопотребление и улучшается качество очистки сточных вод [Электронный ресурс] // gov.spb.ru [сайт]. [2016]. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ingen/news/85821/> (дата обращения 28.01.2019)
  6. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты [Электронный ресурс] // potential2.ru [сайт]. [2014]. URL: [https://potential2.ru/files/useful/rekomendacii\\_vodgeo\\_2014.pdf](https://potential2.ru/files/useful/rekomendacii_vodgeo_2014.pdf) (дата обращения 28.01.2019)
  7. Сточные воды. Состав сточных вод. Бытовые сточные воды. Производственные сточные воды. Поверхностные сточные воды. [Электронный ресурс] // studfiles.net [сайт]. [2016]. URL: <https://studfiles.net/preview/5760931/page:4/> (дата обращения 30.01.2019)
  8. Структура канализования [Электронный ресурс] // vodokanal.spb.ru [сайт]. [2018]. URL: [http://www.vodokanal.spb.ru/kanalizovanie/struktura\\_kanalizovaniya/](http://www.vodokanal.spb.ru/kanalizovanie/struktura_kanalizovaniya/) (дата обращения 30.01.2019)
-