

## ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 628.544

DOI 10.52928/2070-1683-2024-36-1-87-93

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

М.А. КОМАРОВ<sup>1)</sup>, А.В. ПОСПЕЛОВ<sup>2)</sup>, Н.Г. КОРОБ<sup>3)</sup>, А.Н. ХОТЬКО<sup>4)</sup>  
(<sup>1-3)</sup> Белорусский государственный технологический университет, Минск,  
<sup>4)</sup> филиал БГТУ «Белорусский государственный колледж промышленности  
и строительных материалов», Минск)

Сегодня в мире используется большое количество разнообразных дезинфицирующих веществ. По химической природе их можно разделить на органические и неорганические. Каждое из дезинфицирующих веществ имеет свои достоинства и недостатки. В данной статье нами проведен анализ воздействия на окружающую среду пяти различных дезинфицирующих веществ: гипохлорита натрия, гипохлорита кальция, хлорной извести, хлорамина и (как альтернативный вариант) раствора озона в воде. В качестве диапазона анализируемых этапов жизненного цикла выбраны: получение/синтез дезинфицирующего вещества, предварительная подготовка рабочего раствора, процедура дезинфекции. Каждый этап охарактеризован по ряду показателей: сырье и материалы, затраты энергии, вспомогательные вещества, выбросы, сбросы, образование отходов. Итоговое сравнение воздействия на окружающую среду выбранных дезинфицирующих веществ осуществлялось в программе SimaPro. Согласно результатам оценки наибольшее воздействие на окружающую среду оказывают хлорная известь и гипохлорит кальция. Наименьшее – использование водных растворов озона.

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

**Введение.** Оценка воздействия на окружающую среду различных дезинфицирующих веществ является важным аспектом управления общественным здоровьем и экологической устойчивостью. В процессе использования дезинфицирующих веществ могут возникнуть различные вопросы, связанные с их потенциальным воздействием на окружающую среду. Применение экологичных дезинфицирующих средств будет способствовать обеспечению более безопасной среды для человека. Многие традиционные дезинфицирующие вещества токсичны и вызывают аллергии. Разработка безопасных альтернатив способствует улучшению общественного здоровья. Потребители и организации все более ориентированы на использование продуктов и технологий, которые не вредят окружающей среде. Экологичные дезинфицирующие вещества соответствуют требованиям устойчивого развития и могут быть более привлекательными для общественности.

Исследования по поиску наиболее экологичного дезинфицирующего вещества для инактивации микроорганизмов представляют собой важное направление в научных исследованиях, и их актуальность обосновывается несколькими ключевыми факторами. Использование традиционных дезинфицирующих веществ, таких как хлорсодержащие соединения, может привести к негативным последствиям для экосистем. Данные растворы после использования для дезинфекции сооружений содержат высокую остаточную концентрацию активного вещества, что требует их обязательной обработки перед сбросом [1–4]. Также необходима стадия промывки после их использования. Поиск более экологичных альтернатив помогает уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Известно, что озон является одним из сильнейших окислителей, а после растворения в воде период его полураспада составляет 20–40 мин в зависимости от температуры воды [5–7]. Таким образом, растворы озона в воде являются перспективной альтернативой наиболее распространенным хлорсодержащим веществам. С технической точки зрения у озона как дезинфицирующего средства также ряд преимуществ [8–11]. Например, за счет более высокой эффективности инактивации микроорганизмов время воздействия на обрабатываемые поверхности и среды снижается в десятки раз в сравнении с использованием хлорсодержащих реагентов, что приводит к меньшей итоговой коррозии обрабатываемых сооружений. За счет быстрой и эффективной инактивации микроорганизмов оказывается меньшее разрушающее воздействие на материал обрабатываемых поверхностей [12–17]. Таким образом, внедрение экологичных дезинфицирующих веществ может быть выгодным и с экономической точки зрения. Новые технологии могут снижать затраты на подготовку реагентов, обработку и утилизацию отходов, а также влиять на снижение других вспомогательных расходов.

Из вышесказанного следует, что исследования в области поиска экологичных дезинфицирующих веществ с учетом их потенциального вклада в решение экологических, медицинских и социальных проблем крайне актуальны. Одним из известных способов оценки экологичности различных продуктов является методика оценки воздействия продукции на окружающую среду на этапах их жизненного цикла.

**Цель исследования:** сравнительный анализ воздействия хлорсодержащих дезинфицирующих веществ и активированного озона на окружающую среду на этапах их жизненного цикла при их использовании в системах водоснабжения.

**Методология исследований.** В данной работе в качестве возможных способов дезинфекции рассматриваются применение таких дезинфицирующих веществ, как гипохлорит кальция, гипохлорит натрия, хлорная известь и насыщенный раствор озона. Хлорамин Б не используется в качестве дезинфицирующего вещества в процессе водоподготовки, т.к. он содержит наименьшее содержание активного хлора (18–25 мас.%) в сравнении

с остальными хлорсодержащими дезинфицирующими веществами. Каждый из предложенных вариантов проанализирован от стадии получения реагентов до использования дезинфицирующих растворов. В качестве функциональной единицы выбран объем дезинфицирующего раствора в количестве 1 м<sup>3</sup>. Также принята 90%-ная эффективность переработки сырья на стадии производства/получения дезинфицирующего вещества. Исходные данные для оценки воздействия на окружающую среду были взяты из условий приготовления 1 м<sup>3</sup> дезинфицирующего раствора с концентрацией 150 мг активного хлора /л или 1 мгО<sub>3</sub>/л. Для сравнительного анализа использовалось программное обеспечение SimaPro8. Сравнение осуществляли с использованием метода IMPACT 2002 + V2.12.

**Основная часть.** Данный анализ будем проводить на примере технологий дезинфекции сооружений водоподготовки, т.к. в отличие от остальных вариантов дезинфекции этот характеризуется использованием полноценных технологических стадий.

Наибольший расход материалов и энергии отмечается в процессе производства гипохлорита кальция и хлорной извести. Методы получения гипохлорита кальция и хлорной извести схожи. Гипохлорит кальция формируется путем хлорирования известкового молока с применением гипохлорита натрия или без него. Обычно в процессе производства происходит образование кристаллогидрата гипохлорита. Хлорная известь, в свою очередь, – результат взаимодействия газообразного хлора с сухой гидроксидом кальция Ca(OH)<sub>2</sub>. Хлор, полученный электролизом раствора NaCl, растворяют воздухом, и поступающий на процесс хлорирования газ обычно содержит 40–50% Cl<sub>2</sub>. В газе не допускается превышение 1,5% H<sub>2</sub> и 0,4% CO<sub>2</sub> (по хлору, в расчете на 90–98% содержание газа). Влажность не должна превышать 0,06%. Гашеную известь получают из порошкообразной извести с высоким содержанием кальция. Производство хлорной извести включает три этапа: обжиг известняка; гашение извести; хлорирование пушонки.

Известь образуется путем обжига известняка или мела при температуре 950–1100 °С. Исходный известняк, предназначенный для обжига, имеет размеры кусков от 70 до 120 мм и должен содержать не менее 91% CaCO<sub>3</sub>, не более 1,7% MgCO<sub>3</sub> и не более 0,2% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Присутствие 1% примесей в известняке приводит к почти 2% примесям в обожженной извести. В процессе обжига известняка карбоната кальция диссоциирует. Необходимое тепло для этого процесса вырабатывается при сжигании топлива. Диссоциация известняка происходит с достаточной полнотой уже при 900 °С, но для ускорения процесса температуру в наиболее горячей зоне печи поддерживают на уровне 1000–1100 °С.

При более низкой температуре часть известняка внутри крупных кусков не полностью разлагается, образуя так называемый недожог (или недопал), что негативно сказывается на качестве извести и увеличивает количество отходов при ее гашении. Более высокая температура приводит к плавлению кусков извести из-за присутствия примесей, таких как кремнезем, оксиды железа, алюминия, магния и др., образующие легкоплавкие силикаты в известняке и золе угля. Такая известь медленно гасится водой, и после гашения часть ее, вместе с недопалом, отсеивается в виде более крупных не полностью гашеных кусочков, известных как пережог (или перепал).

Для получения рабочего раствора гипохлорита кальция и хлорной извести используется гранулят, содержащий, в зависимости от продукта, от 65–75 мас.% и 30–35 мас.% свободного хлора соответственно. Для приготовления раствора используют емкости для растворения со скошенным дном, т.к. гипохлорит кальция содержит около 10 мас.% нерастворимых частиц, а в хлорной извести еще больше.

При производстве хлорамина Б (натриевой соли хлорамида бензолсульфокислоты, конкретно, ее тригидрата C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>SO<sub>2</sub>NCINa·3H<sub>2</sub>O) также наблюдается существенное воздействие на окружающую среду. Промышленный метод получения хлорамина Б включает этапы воздействия газообразного хлора на водный раствор натриевой соли бензолсульфамида. Процесс состоит из трех этапов. На первом этапе бензол реагирует с хлорсульфоновой кислотой при соотношении моль бензола к хлорсульфоновой кислоте 1:2,5. Смесь перемешивается в течение часа при 30 °С. Далее сульфомассу подвергают обработке серной кислотой. Бензолсульфохлорид, образовавшийся в результате этого процесса, обрабатывают водным раствором аммиака при температуре 30 °С. Полученный бензолсульфамид выдерживают при 70 °С, затем производят отмывание водой и фильтрацию. На третьем этапе бензолсульфамид взаимодействует с газообразным хлором при 75–80 °С в щелочной среде (NaOH) с образованием хлорамина Б.

В меньшей степени потребление материалов и энергии характерно для производства гипохлорита натрия. В слечае с гипохлоритом натрия его получение осуществляется на месте методом электролиза водного раствора хлорида натрия с добавками (CaCl<sub>2</sub> и др.). В электролизной ванне происходит диссоциация соли, а также воды. При включении электролизера в сеть на аноде будет происходить окисление хлоридов: 2Cl<sup>-</sup> – 2e → Cl<sub>2</sub>, затем их гидролиз: Cl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O → HCO + HCl. На катоде выделяется водород (H<sub>2</sub>), образуется едкий натрий. В результате реакции NaOH с HClO образуется гипохлорит. Образующийся раствор полностью используется для процедуры дезинфекции.

Получение озона осуществляется непосредственно в месте его использования для дезинфекции. Это связано как с простотой его получения (из воздуха или кислорода), так и с небольшим временем его жизни (период полураспада в воде составляет 15–20 мин в зависимости от температуры). Данный аспект является положительным, т.к. озон относится к первому классу опасности и нахождение его это время в зоне дезинфекции позволит практически полностью использовать его окислительную способность и предотвратить выброс в окружающую среду.

Наиболее энергозатратными процессами являются производство гипохлорита кальция и хлорной извести на стадии обжига известняка при температурах около 1000 °С. Для достижения данных температур используют сжигание топлива, сопровождающееся значительными выбросами CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>x</sub>O<sub>y</sub> и SO<sub>2</sub> (при использовании в качестве топлива углей или мазута). При этом синтез хлорамина Б осуществляется при невысокой температуре 30 °С. Для получения гипохлорита натрия и озона необходима только электроэнергия, и происходит это непосредственно на месте их использования (сооружения водоподготовки).

Так же, как и затраты энергии, наибольшее воздействие на атмосферу в ходе основного процесса получения осуществляется при синтезе гипохлорита кальция и хлорной извести. Основная доля влияния приходится на продукты сгорания топлива в процессе обжига известняка. Как значительные характеризуются выбросы хлора.

В процессе генерации озона возможно слабое воздействие на атмосферу за счет выбросов остаточного озона и небольшого количества оксидов азота, образующихся в процессе разряда конденсаторов в генераторе озона.

При синтезе гипохлорита натрия непосредственно на установке происходит выделение водорода.

На стадии получения гипохлорита кальция, хлорной извести и хлорамина Б образуются маточные растворы и промывные воды, сбрасываемые периодически. Данные воды содержат компоненты сырьевых материалов, полу-продуктов и продуктов синтеза. На стадиях получения гипохлорита натрия и озона сточных вод не образуется.

При использовании всех хлорсодержащих веществ происходит образование сточных (отработанные растворы дезинфекции) и промывных вод. Они должны обезвреживаться, т.к. их объемы значительны, и при сбросе в сети канализации они могут привести к нарушению работы аэротенков на городских сооружениях очистки коммунальных сточных вод. К сожалению, на практике возможен их сброс на территорию, прилегающую к сооружениям, которые дезинфицировали. Для оценки воздействия на почвы нами ранее были проведены исследования, представленные в публикациях<sup>1</sup> [18]. Результаты проведенных экспериментов, оценивающих воздействие использованных дезинфицирующих растворов на почву в системах водоснабжения, показывают, что хлорная известь и гипохлорит натрия в этих растворах вызывают изменения в химическом составе почвы и снижают активность микроорганизмов в ней. В то время как остаточный озон активизирует процессы окисления органических веществ, причем эта активация сопровождается менее существенными изменениями в трансформации органических веществ в почве. Почва, подвергшаяся регулярному воздействию растворов с активным хлором, может потребовать ремедиации, предпочтительно с использованием активных почвенных бактерий в составе биопрепарата или специализированных штаммов, способных деградировать хлорорганические соединения. Применение озона для дезинфекции систем водоснабжения позволяет уменьшить экологическую нагрузку на почву в прилегающих зонах.

При производстве гипохлорита кальция, хлорной извести и хлорамина Б возникают отходы, содержащие компоненты исходных материалов, которые не участвовали в реакции. Также на этапе приготовления рабочих растворов, непосредственно перед их использованием, образуется осадок, представляющий собой нерастворимые соединения в составе гипохлорита кальция, хлорной извести и хлорамина Б. При производстве гипохлорита натрия и озона отходов не образуется. Анализ аспектов воздействия на окружающую среду при использовании хлорсодержащих дезинфицирующих веществ и озона представлены в таблице.

Таблица. – Анализ аспектов воздействия на окружающую среду при использовании хлорсодержащих дезинфицирующих веществ и озона

Аспект	Хлорсодержащие дезинфицирующие вещества				Озон
	Гипохлорит кальция	Хлорная известь	Хлорамин Б	Гипохлорит натрия	
Стадия производства/получения					
Реагенты	CaCO <sub>3</sub> , Cl <sub>2</sub> , вода	CaCO <sub>3</sub> , Cl <sub>2</sub> , вода, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Бензол, хлорсульфоно-вая кислота, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub>	NaCl, вода, добавки CaCl <sub>2</sub>	–
Энергия	Энергия/топливо	Энергия/топливо	Энергия/топливо	Электроэнергия	–
Выбросы	CO <sub>2</sub> , N <sub>x</sub> O <sub>y</sub> , Cl <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> , N <sub>x</sub> O <sub>y</sub> , Cl <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> , N <sub>x</sub> O <sub>y</sub>	–	–
Сбросы	Промывные воды, маточный раствор	Промывные воды, маточный раствор	Промывные воды, маточный раствор	–	–
Отходы	Недопал извести, перепал извести, шлам	Недопал извести, перепал извести, шлам	–	–	–
Стадия предварительной подготовки дезинфицирующего вещества					
Реагенты	Вода	Вода	Вода	–	–
Энергия	Электроэнергия	Электроэнергия	Электроэнергия	–	–
Отходы	Шлам	Шлам	Шлам	–	–
Стадия использования					
Реагенты	–	–	–	–	Воздух
Энергия	Электроэнергия	Электроэнергия	Электроэнергия	Электроэнергия	Электроэнергия
Выбросы	–	–	–	–	O <sub>3</sub> , N <sub>x</sub> O <sub>y</sub>
Сбросы	Отработанный раствор и промывные воды содержащие Ca(ClO) <sub>2</sub>	Отработанный раствор и промывные воды содержащие Ca <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , ClO <sup>-</sup>	Отработанный раствор и промывные воды содержащие ClO <sup>-</sup>	Отработанный раствор и промывные воды содержащие NaClO	–

<sup>1</sup> Романовский В.И., Бессонова Ю.Н. Сравнительный анализ способов дезинфекции водозаборных скважин и сооружений водоснабжения // Перспективы развития и организационно-экономические проблемы управления производством: материалы междунар. науч.-техн. конф. В 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск: Право и экономика, 2015. – Т 1. – С. 211–226.

Согласно процедуре оценки воздействия на основе анализа жизненного цикла, используя представленные входные и выходные потоки, необходимо выявить категории воздействия. Оценка важности потенциальных воздействий исследуемой системы на окружающую среду проводится на основе данных, полученных из качественного и количественного инвентаризационного анализа.

Изначально определяются категории воздействия, такие как канцерогенные эффекты, респираторные эффекты, истощение озонового слоя, воздействие на водные и земельные ресурсы и др. Этап взвешивания заключается в оценке значимости каждой категории воздействия для объединения значений в единую метрику, отражающую экологическую характеристику исследуемой системы. Результаты оценки жизненного цикла на данной стадии представлены на рисунках 1 и 2. Из графиков следует, что наиболее опасным для окружающей среды и человека является использование гипохлоритов кальция и натрия, содержащих хлор. Тем не менее, согласно методике расчета применение насыщенного раствора озона также является источником загрязнения водных объектов и почв тяжелыми металлами.

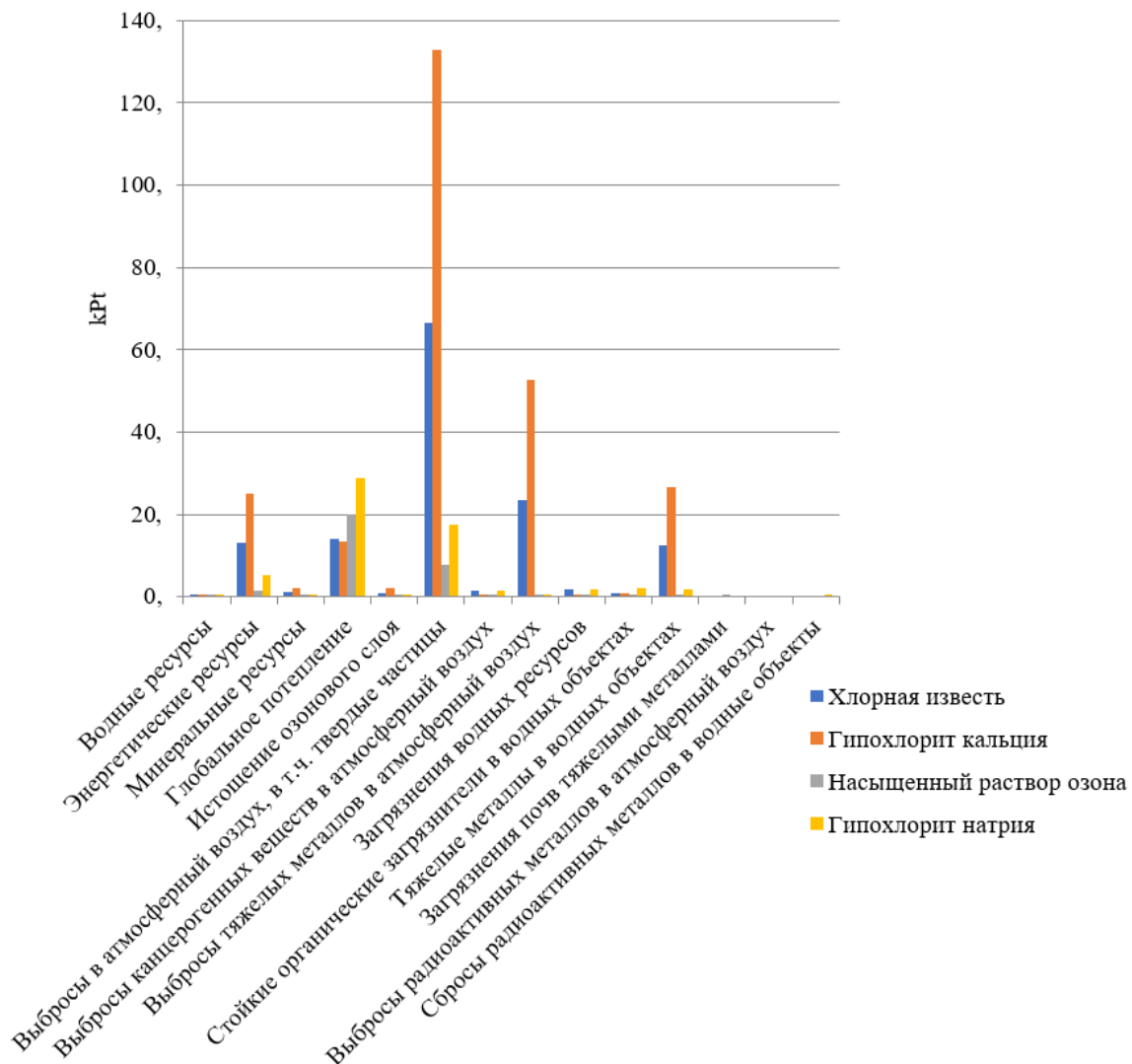


Рисунок 1. – Оценка жизненного цикла различных дезинфицирующих веществ по результатам взвешивания

Применение методики оценки жизненного цикла для сравнения эффективности различных веществ в процессе дезинфекции сооружений водоснабжения выявило, что наименьшее значение экоиндикатора наблюдается при использовании раствора озона в воде. Замечено также, что среди вариантов применения дезинфицирующих веществ наилучшие экологические характеристики проявляются у гипохлорита натрия.

Таким образом, оценка жизненного цикла позволяет количественно оценить экологические параметры различных дезинфицирующих веществ, учитывая этапы их производства, подготовки реагентов и непосредственного процесса дезинфекции. На основе такой оценки можно предварительно просчитать возможные последствия в различных категориях воздействия, таких как влияние на здоровье человека, состояние экосистем и истощение природных ресурсов. Это также обеспечивает выбор наилучшей технологии при сравнении различных альтернатив.

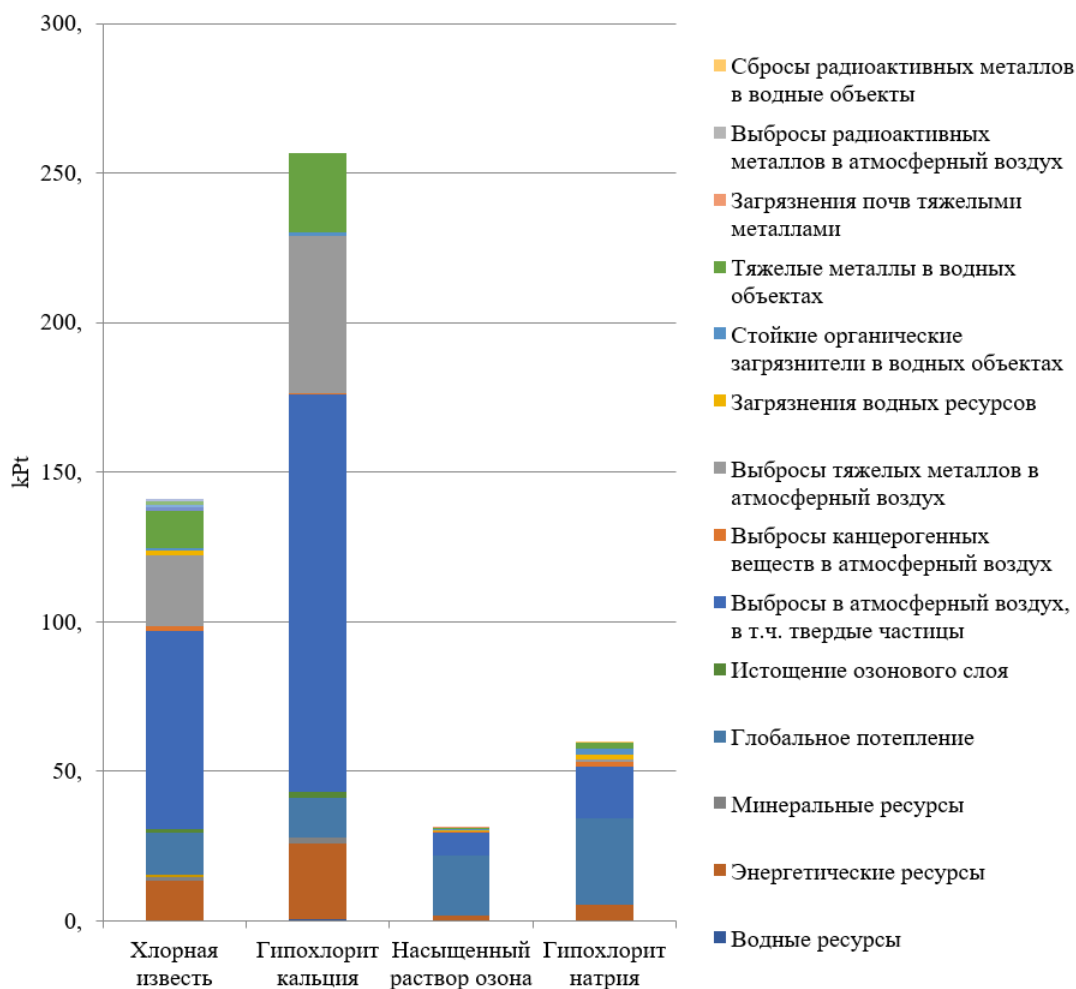


Рисунок 2. – Применение различных дезинфицирующих веществ по результатам взвешивания

С экологической точки зрения обработка озоном имеет преимущество перед обработкой гипохлоритом, т.к. не образуются отходы (или образуется ограниченное количество отходов). Хотя озон относится к тем же классам опасности, что и гипохлорит натрия, в отношении водных организмов, он имеет следующее преимущество – может образовываться непосредственно в водоеме в закрытой системе и его период полураспада составляет в среднем 20 мин. Это приводит к значительно меньшему воздействию на окружающую среду обработки озоном по сравнению с обработкой гипохлоритом натрия или кальция.

Самое высокое воздействие гипохлорита кальция на окружающую среду среди дезинфицирующих средств для поверхностей можно объяснить, главным образом, значительным воздействием на окружающую среду на этапе его производства. Также стоит отметить, что процесс приготовления дезинфицирующего раствора из свежей поверхности гипохлорита кальция начинается с исходного препарата концентрации 10 мас.%, который затем подлежит хранению в течение суток. После этого раствор проходит фильтрацию для удаления нерастворимых отложений и окончательно разбавляется до достижения требуемой концентрации. В противоположность этому, производство гипохлорита натрия включает только этап электролиза хлорида натрия непосредственно на месте. Для окончательного дезинфицирующего раствора гипохлорита натрия этот раствор побочных продуктов просто разбавляется без образования осадка. Генерация озона происходит и впрыскивается в воду непосредственно во время обработки.

**Вывод.** Таким образом, после разбора результатов исследований можно сделать выводы:

- среди проанализированных дезинфицирующих веществ интегральная оценка воздействия на окружающую среду уменьшается в ряду гипохлорит кальция > хлорная известь > гипохлорит натрия > раствор озона в воде;
- на стадии получения дезинфицирующих веществ наибольшее воздействие на окружающую среду оказывают производства гипохлорита кальция и хлорной извести;
- основным недостатком всех хлорсодержащих дезинфицирующих веществ является необходимость обеззараживания отработанных растворов и проведения нескольких промывок обрабатываемых поверхностей.

Работа выполнена при поддержке ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия», задание 2.1.02 «Сорбционные, каталитические и мембранные материалы для водоочистки и водоподготовки», НИР 5 «Физико-химические основы коррозии материалов в дезинфицирующих средах и разработка экологических и высокоэффективных способов дезинфекции» (2021–2023 гг.).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дезинфекция озонм водозаборных скважин и трубопроводов систем питьевого водоснабжения / В.И. Романовский, А.Д. Гуринович, Ю.Н. Чайка и др. // Тр. БГТУ. Химия и технология неорган. в-в. – 2013. – № 3(159). – С. 55–60.
2. Ozone disinfection of water intake wells and pipelines of drinking water supply systems / V.I. Romanouski, A.D. Gurinovich, Yu.N. Chaika et al. // Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances. – 2013. – № 3(159). – P. 51–56.
3. Hurynovich A.D., Romanouski V.I., Wawrzyeniuk P. Analiza efektywności kaskadowego generator ozonu // *Economia i środowisko*. – 2013. – № 1(44). – S. 156–164.
4. Романовский В.И., Гуринович А.Д., Вавженюк П. Эффективность использования озона в технологии водоподготовки // *Водоочистка*. – 2014. – № 2. – С. 66–70.
5. Романовский В.И., Лихавицкий В.В., Гуринович А.Д. Исследование растворимости озона в воде по высоте столба жидкости // Тр. БГТУ. Химия и технология неорган. в-в. – 2015. – № 3(176). – С. 113–118.
6. Технические аспекты использования озона в водоподготовке / В.И. Романовский, А.Д. Гуринович, Ю.Н. Бессонова и др. // *Вода magazine*. – 2016. – № 2(102). – С. 36–41.
7. Анализ эффективности дезинфекции сооружений питьевого водоснабжения с использованием хлорсодержащих дезинфицирующих средств и озона / В.И. Романовский, М.В. Рымовская, Ю.Н. Бессонова и др. // *Вестн. БрГТУ. Водохоз. стр-во, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2015. – № 2(92). – С. 68–71.
8. Романовский В.И., Рымовская И.В., Янь Фэн С. Сравнительный анализ эффективности дезинфекции сооружений водоснабжения дезинфицирующими растворами // *Вода magazine*. – 2015. – № 10(98). – С. 18–21.
9. Определение основных параметров дезинфекции и обеззараживания озонм сооружений питьевого водоснабжения / В.И. Романовский, В.В. Лихавицкий, М.В. Рымовская и др. // Тр. БГТУ. Химия и технология неорган. в-в. – 2015. – № 3(176). – С. 108–112.
10. Гуринович А.Д., Романовский В.И., Бессонова Ю.Н. Эффективность дезинфекции озонм сооружений систем водоснабжения // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. – 2016. – № 10. – С. 48–51.
11. Исследование технических характеристик турбоозонатора с высокочастотным резонансным электроионизационным генератором озона / В.И. Романовский, А.Д. Гуринович, И.Д. Куницкая и др. // *Водоочистка*. – 2014. – № 3. – С. 66–69.
12. Романовский В.И., Жилинский В.В., Бессонова Ю.Н. Сравнительный анализ коррозионной устойчивости углеродистых сталей к дезинфицирующим растворам электрохимическим методом // *Вестн. БрГТУ. Водохоз. стр-во, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2016. – № 2(98). – С. 126–129.
13. Романовский В.И., Чайка Ю.Н. Коррозионная устойчивость углеродистых сталей к дезинфицирующим растворам // Тр. БГТУ. Химия и технология неорган. в-в. – 2014. – № 3(167). – С. 47–50.
14. Romanovski V.I., Chaika Yu.N. Carbon steels corrosion resistance to disinfectants // *Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances*. – 2014. – № 3(167). – P. 40–43.
15. Романовский В.И., Жилинский В.В. Коррозионная устойчивость стали 15 к дезинфицирующим растворам // Тр. БГТУ. Химия и технология неорган. в-в. – 2015. – № 3(176). – С. 29–34.
16. Коррозия нержавеющей сталей в дезинфицирующих растворах / А.В. Поспелов, И.В. Мацукевич, А.А. Касач и др. // *Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. F, Стр-во. Приклад. науки*. – 2023. – № 1(33). – С. 90–93. DOI: 10.52928/2070-1683-2023-33-1-90-93.
17. Коррозия углеродистых сталей в дезинфицирующих растворах / А.В. Поспелов, И.В. Мацукевич, А.А. Касач и др. // *Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. F, Стр-во. Приклад. науки*. – 2022. – № 14(32). – С. 89–93.
18. Рымовская М.В., Романовский В.И. Воздействие отработанных растворов дезинфекции сооружений водоснабжения на почву // Тр. БГТУ. Химия и технология неорган. в-в. – 2016. – № 4(186). – С. 214–219.

## REFERENCES

1. Romanovskii, V.I., Gurinovich, A.D., Chaika, Yu.N. & Vavzhenyuk, P. (2013). Dezinfektsiya ozonom vodozabornykh skvazhin i truboprovodov sistem pit'evogo vodosnabzheniya [Disinfection with ozone of water wells and pipelines of drinking water supply systems]. *Tr. BGTU. Khimiya i tekhnologiya neorgan. v-v [Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances]*, 3(159), 55–60. (In Russ., abstr. in Engl.).
2. Romanovskii, V.I., Gurinovich, A.D., Chaika, Yu.N. & Wawzhenyuk, P. (2013). Disinfection with ozone of water wells and pipelines of drinking water supply systems. *Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances*, 3(159), 55–60.
3. Hurynovich, A.D., Romanouski, V.I. & Wawrzyeniuk, P. (2013). Analiza efektywności kaskadowego generator ozonu. *Economia i środowisko*, 1(44), 156–164. (In Polish).
4. Romanovskii, V.I., Gurinovich, A.D. & Vavzhenyuk, P. (2014). Effektivnost' ispol'zovaniya ozona v tekhnologii vodopodgotovki [Efficiency of ozone use in water treatment technology]. *Vodoochistka [Water treatment]*, (2), 66–70. (In Russ., abstr. in Engl.).
5. Romanovskii, V.I., Likhavitskii, V.V. & Gurinovich, A.D. (2015). Issledovanie rastvorimosti ozona v vode po vysote stolba zhidkosti [Study of ozone solubility in water based on the height of the liquid column]. *Tr. BGTU. Khimiya i tekhnologiya neorgan. v-v [Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances]*, 3(176), 113–118. (In Russ., abstr. in Engl.).
6. Romanovskii, V.I., Gurinovich, A.D., Bessonova, Yu.N. & Kryshilovich, E.V. (2016). Tekhnicheskie aspekty ispol'zovaniya ozona v vodopodgotovke [Technical aspects of the use of ozone in water treatment]. *Voda magazine [Water magazine]*, 2(102), 36–41. (In Russ., abstr. in Engl.).
7. Romanovskii, V.I., Rymovskaya, M.V., Bessonova, Yu.N., Kovalevskaya, A.M. & Likhavitskii, V.V. (2015). Analiz effektivnosti dezinfektsii sooruzhenii pit'evogo vodosnabzheniya s ispol'zovaniem khlorso-derzhashchikh dezinfitsiruyushchikh sredstv i ozona [Analysis of the effectiveness of disinfection of drinking water supply structures using chlorine-containing disinfectants and ozone]. *Vestn. BrGTU. Vodokhoz. str-vo, teploenergetika i geoekologiya [Bulletin of BrSTU. Water management construction, heat power engineering and geoecology]*, 2(92), 68–71. (In Russ., abstr. in Engl.).
8. Romanovskii, V.I., Rymovskaya, I.V. & Yan' Fen, S. (2015). Sravnitel'nyi analiz effektivnosti dezinfektsii sooruzhenii vodosnabzheniya dezinfitsiruyushchimi rastvorami [Comparative analysis of the effectiveness of disinfection of water supply facilities with disinfectant solutions]. *Voda magazine [Water magazine]*, 10(98), 18–21. (In Russ., abstr. in Engl.).

9. Romanovskii, V.I., Likhavitskii, V.V., Rymovskaya, I.V. & Gurinovich, A.D. (2015). Opredelenie osnovnykh parametrov dezinfektsii i obezrazhivaniya ozonom sooruzhenii pit'evogo vodosnabzheniya [Determination of the main parameters of disinfection and ozone disinfection of drinking water supply structures]. *Tr. BGTU. Khimiya i tekhnologiya neorgan. v-v [Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances]*, 3(176), 108–112. (In Russ., abstr. in Engl.).
10. Gurinovich, A.D., Romanovskii, V.I. & Bessonova, Yu.N. (2016). Effektivnost' dezinfektsii ozonom sooruzhenii sistem vodosnabzheniya [Efficiency of ozone disinfection of water supply system structures]. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie [Vodoochistka. Water treatment. Water supply]*, (10), 48–51. (In Russ., abstr. in Engl.).
11. Romanovskii, V.I., Gurinovich, A.D., Kunitskaya, I.D. & Likhavitskii, V.V. (2014). Issledovanie tekhnicheskikh kharakteristik turboozonatora s vysokochastotnym rezonansnym elektro-ionizatsionnym generatorom ozona [Study of the technical characteristics of a turbo ozonizer with a high-frequency resonant electroionization ozone generator]. *Vodoochistka [Water treatment]*, (3), 66–69. (In Russ., abstr. in Engl.).
12. Romanovskii, V.I., Zhilinskii, V.V. & Bessonova, Yu.N. (2016). Sravnitel'nyi analiz korrozionnoi ustoichivosti uglerodistykh staley k dezinfitsiruyushchim rastvoram elektrokhimicheskimi metodom [The comparative analysis of corrosion stability carbonaceous stalya to the elektrohimicheskimi disinfecting solutions by method]. *Vestn. BrGTU. Vodokhoz. str-vo, teploenergetika i geoekologiya [Bulletin of BrSTU. Water management construction, heat power engineering and geoecology]*, 2(98), 126–129. (In Russ., abstr. in Engl.).
13. Romanovskii, V.I. & Chaika, Yu.N. (2014). Korroziionnaya ustoichivost' uglerodistykh staley k dezinfitsiruyushchim rastvoram [Corrosion resistance of carbon steels to disinfectant solutions]. *Tr. BGTU. Khimiya i tekhnologiya neorgan. v-v [Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances]*, 3(167), 47–50. (In Russ., abstr. in Engl.).
14. Romanovskii, V.I. & Chaika, Yu.N. (2014). Carbon steels corrosion resistance to disinfectants. *Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances*, 3(167), 40–43.
15. Romanovskii, V.I. & Zhilinskii, V.V. (2015). Korroziionnaya ustoichivost' stali 15 k dezinfitsiruyushchim rastvoram [Corrosion resistance of steel 15 to disinfectant solutions]. *Tr. BGTU. Khimiya i tekhnologiya neorgan. v-v [Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances]*, 3(176), 29–34. (In Russ., abstr. in Engl.).
16. Pospelov, A.V., Matsukevich, I.V., Kasach, A.A., Komarov, M.A. & Rozhko, S.N. (2023). Korroziya nerzhavayushchikh staley v dezinfitsiruyushchikh rastvorakh [Corrosion of stainless steels in disinfectant solutions]. *Vestn. Polotsk gos. un-ta. Ser. F, Str-vo. Priklad. nauki [Herald of Polotsk State University. Series F, Civil engineering. Applied sciences]*, 1(33), 90–93. DOI: 10.52928/2070-1683-2023-33-1-90-93. (In Russ., abstr. in Engl.).
17. Pospelov, A.V., Matsukevich, I.V., Kasach, A.A., Komarov, M.A. & Rozhko, S.N. (2022). Korroziya uglerodistykh staley v dezinfitsiruyushchikh rastvorakh [Corrosion of carbon steels in disinfectant solutions]. *Vestn. Polotsk gos. un-ta. Ser. F, Str-vo. Priklad. nauki [Herald of Polotsk State University. Series F, Civil engineering. Applied sciences]*, 14(32), 89–93. DOI: 10.52928/2070-1683-2022-32-14-89-93. (In Russ., abstr. in Engl.).
18. Rymovskaya, M.V. & Romanovskii, V.I. (2016). Vozdeistvie otrabotannykh rastvorov dezinfektsii sooruzhenii vodosnabzheniya na pochvu [Impact of spent disinfection solutions of water supply structures on soil]. *Tr. BGTU. Khimiya i tekhnologiya neorgan. v-v [Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances]*, 4(186), 214–219. (In Russ., abstr. in Engl.).

Поступила 20.12.2023

## ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF DISINFECTANTS

**M. KOMAROV<sup>1)</sup>, A. POSPELOV<sup>2)</sup>, N. KOROB<sup>3)</sup>, A. KHOTKO<sup>4)</sup>**

**<sup>1)-3)</sup> Belarusian State Technological University, Minsk,**

**<sup>4)</sup> Belarusian State College of Construction Materials Industry,**

**Branch of the educational institution «Belarusian State Technological University», Minsk)**

Today, a wide range of disinfectants are used in the world. According to their chemical nature, they are organic and inorganic. Each of the disinfectants has its own advantages and disadvantages. In this article, we analyzed the environmental impact of five different disinfectants: sodium hypochlorite, calcium hypochlorite, bleach, chloramine and, as an alternative, a solution of ozone in water. The range of life cycle stages to be analyzed included: production/synthesis of a disinfectant, preliminary preparation of a working solution, and disinfection procedure. Each stage is characterized by a number of indicators: raw materials, energy costs, auxiliary substances, emissions, discharges, waste generation. The final comparison of the environmental impact of the selected disinfectants was carried out in the SimaPro software. The assessment results show that bleach and calcium hypochlorite have the greatest impact on the environment. The use of aqueous solutions of ozone has the least impact on the components of the natural environment.

**Keywords:** disinfection, environmental impact assessment, life cycle, ozone, calcium hypochlorite, sodium hypochlorite, chloramine, bleaching powder.