

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.166

А. Л. ВАСИЛЬЕВ¹, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии; **А. С. ТАРАСОВ²**, ведущий инженер-технолог; **Л. Д. ГУСЕВА³**, ведущий инженер

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-87; эл. почта: k_viv@nngasu.ru

²ОАО «Дзержинский водоканал»

Россия, 606019, г. Дзержинск, пр-т Дзержинского, д. 43. Тел.: (8313) 25-96-17; эл. почта: secretar@istok.sinn.ru

³ФГБУ «ЦЛАТИ по ПФО»

Россия, 606300, г. Н. Новгород, ул. Гончарова, д. 1А. Тел.: (831) 437-29-07; эл. почта: centrpf@clatipfo.ru

Ключевые слова: качество воды, обеззараживание питьевой воды, озонирование, перекись водорода, хлорирование.

Изложены основные современные методы обеззараживания питьевых вод, имеющие практическое применение и позволяющие обеспечить безопасность водоснабжения населения, с указанием их преимуществ и недостатков.

В качестве источников централизованного водоснабжения населения широко используются пресные подземные водоносные горизонты и поверхностные водные объекты. Сброс неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод в водные объекты и на рельеф местности приводит к истощению источников водоснабжения, снижению качества воды. Водные объекты становятся средой обитания для патогенных и условно патогенных микроорганизмов, возбудителей различных инфекционных заболеваний. Водным путем передаются брюшной тиф, холера, паратифы, дизентерия, амебиаз, энтеровирусные заболевания, инфекционный гепатит, лептоспироз, туляремия, лямблиоз, балантидиоз, некоторые гельминтозы, аденовирусные заболевания и др. [1].

Обеззараживание питьевой воды служит надежным барьером на пути передачи водным путем возбудителей инфекционных болезней, уничтожает патогенные и условно патогенные микроорганизмы, чем обеспечивает эпидемическую безопасность воды.

Целью данной работы является изучение современных методов обеззараживания питьевой воды.

Существующие методы обеззараживания питьевой воды по способу их воздействия на микроорганизмы можно поделить на химические (реагентные) и физические (безреагентные) методы, а также комбинированные, сочетающие в себе и химические, и физические методы [2].

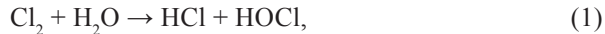
К химическим способам обеззараживания питьевой воды относят: хлорирование с применением жидкого и газообразного хлора, растворов гипохлорита натрия, сухих реагентов или прямой электролиз, диоксид хлора, озонирование; к



физическим – обеззараживание ультрафиолетовыми лучами, ультразвуком и т. д.

Ввиду высокой эффективности широкое распространение получило обеззараживание питьевой воды с использованием хлора и его производных.

При взаимодействии растворенного хлора с водой происходит следующая реакция [2]:



Обеззараживающее действие оказывают гипохлоритный ион OCl^\ominus и недиссоциированная хлорноватистая кислота.

Процесс взаимодействия хлора с бактериальной клеткой в воде проходит в две стадии: сначала обеззараживающий агент диффундирует внутрь бактериальной клетки, а затем вступает в реакцию с белками цитоплазмы, ядерным аппаратом клетки, а также с клеточными ферментами. Спороцидный эффект проявляется при высоких концентрациях хлора и при длительном контакте. Высокорезистентны к действию хлора вирусы, а также цисты простейших и яйца гельминтов [3].

Хлор также обладает пролонгированным бактерицидным действием, что предотвращает развитие вторичного бактериального загрязнения в трубопроводах распределительной сети.

Существенным недостатком применения хлора в качестве обеззараживающего реагента является его способность вступать в хлорзамещающие реакции с органическими веществами, образуя токсичные и опасные хлорорганические соединения.

В настоящее время от применения газообразного и жидкого хлора в качестве обеззараживания сточных вод практически отказались ввиду высокой токсичности и опасности данного способа дезинфекции питьевой воды. На смену использованию хлора пришло использование раствора гипохлоритов кальция и натрия. Окислительное и бактерицидное действие гипохлорита идентично действию растворенного хлора.

Растворяясь в воде, гипохлорит натрия диссоциирует на ионы [4]:



Одновременно с пролонгированным антибактерицидным действием протекают реакции окисления органических соединений и формирование устойчивых хлорорганических соединений, обладающих мутагенностью и канцерогенностью. Это является существенным недостатком применения метода хлорирования.

В централизованных системах питьевого водоснабжения нашло широкое применение диоксида хлора (ClO_2). Он обладает более высоким бактерицидным и дезодорирующим эффектом, при этом в воде не образуются токсичные хлорорганические соединения, улучшаются органолептические свойства воды. При растворении в воде медленно образуются хлористая и хлорноватая кислоты (реакция диспропорционирования) [4]:



Образующаяся хлористая кислота очень неустойчива и разлагается:



Действие на микроорганизмы ClO_2 обусловлено не только высоким содержанием высвобождающегося хлора, но и образующимся атомарным кислородом. Именно это сочетание делает диоксид хлора более сильным обеззараживающим агентом. В ходе реакции диоксид хлора отдает органическим веществам атомы



кислорода, не вступая в реакцию хлорзамещения, и по этой причине является менее опасным, чем чистый хлор. Поэтому диоксидом хлора начали активно заменять традиционное хлорирование воды на станциях водоочистки по всему миру. Однако стоит отметить существенную дороговизну метода и достаточно сложную технологию.

Неорганические хлорамины, также имеющие дезинфицирующие свойства, применяются при обеззараживании воды на водопроводных станциях, однако в значительно редких случаях. Хлорамины существуют в трех различных формах: монохлорамины (NH_2Cl), дихлорамин (NHCl_2) и трихлорамин (NHCl_3), которые химически связаны и легко превращаются друг в друга в зависимости от условий среды (рН, температуры, турбулентности и массового соотношения хлор с аммиаком) [5].

Хлорамин по сравнению с хлором является менее эффективным дезинфицирующим веществом, обладает большим пролонгированным действием, однако трудно удаляется. Кроме того, некоторые побочные продукты дезинфекции хлораминном еще более токсичны, чем хлор.

В водных растворах до 10°C устанавливается равновесие [6]:

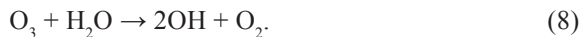


Хлорная известь – комплексное соединение, в котором содержится не более 35 % активного хлора. При хранении, особенно в сырости и на свету, хлорная известь теряет активность.

Окислительно-восстановительный потенциал хлорсодержащих реагентов и их бактерицидная активность возрастают в ряду: хлорамин → хлорная известь → хлор (газ) → диоксид хлора [2].

Альтернативным хлорированию химическим методом обеззараживания питьевой воды является озонирование. Озон (O_3) – аллотропная модификация кислорода, наиболее сильный из известных в настоящее время окислителей. Как и хлор, озон является высокотоксичным газом. Озон оказывает бактерицидное действие на патогенную микрофлору, обеззараживает споры и цисты простейших, патогенные микроорганизмы и вирусы, а также способен устранять привкусы и запахи, разрушать высокомолекулярные органические соединения.

Реакция разложения озона в воде описывается сложным механизмом ввиду влияния огромного количества трудно контролируемых факторов. В общем виде процесс взаимодействия озона с чистой водой можно описать следующими уравнениями [7]:



Молекулярный кислород и свободные радикалы (HO_2 , OH), являясь сильными окислителями, обуславливают бактерицидные свойства озона.

Механизм воздействия окислителя состоит в разрушении структуры ДНК клетки и инактивации бактериальных ферментов. На эффективность бактерицидного действия озона оказывают влияние: рН, температура среды, наличие взвешенных и растворенных органических веществ, концентрация [8].

Основные достоинства применения озонирования воды – это экологическая безопасность (вероятность образования токсичных соединений в очищенной воде значительно ниже, чем при хлорировании), улучшение органолептических свойств воды, очень короткое время существования озона в воде. Однако высокая стоимость оборудования, значительные расходы электроэнергии и отсутствие эффекта «последствия», а также токсичность и взрывоопасность озона являются



недостатками данного метода.

Одним из перспективных методов химического обеззараживания при подготовке питьевой воды может являться использование пероксида водорода. Применение пероксида водорода (H_2O_2) не сопровождается негативными экологическими последствиями: H_2O_2 легко распадается на воду и кислород, не образуя токсичных соединений. Окислительные свойства пероксида водорода обеспечены атомарным кислородом. Кроме того, H_2O_2 действует в широком диапазоне значений концентраций, температуры, реакции среды (рН), имеет высокую селективность окисления различных примесей, стабильность, а также не требует сложного аппаратного оформления [9, 10].

Среди физических методов обеззараживания наиболее простым является термическая обработка воды. Однако, несмотря на то, что кипячение позволяет уничтожить в воде практически все возможные патогенные организмы, данный метод не возможен для применения в промышленных масштабах ввиду дороговизны и не обладает эффектом «последствия».

Антисептический эффект металлов (серебро, медь), брома, йода послужил основой для создания физического метода обеззараживания воды – олигодинамии. Однако данный метод не используется в промышленных масштабах ввиду опасных свойств серебра и меди при накоплении в организме человека, возникновения побочного неприятного запаха в случае применения йода, дороговизны метода бромирования [2].

Среди физических методов обеззараживания широкое распространение получило использование ультрафиолетового излучения. Ультрафиолетовым излучением называется электромагнитное излучение оптического диапазона с длиной волны 10–400 нм. При обеззараживании воды в технологии водоподготовки используется биологически активная область спектра УФ-излучения с длиной волны от 205 до 315 нм, называемая бактерицидным излучением. Обеззараживание воды УФ-излучением основано на необратимых повреждениях молекул ДНК и РНК микроорганизмов, что приводит к гибели клетки. Преимуществами использования УФ-лучей являются: широкий спектр антимикробного действия, отсутствие опасности передозировки, сохранение органолептических свойств воды, минимальное время контакта (секунды). Недостатками метода являются зависимость бактерицидного эффекта от мутности и цветности обрабатываемой воды и отсутствие оперативного контроля эффективности. Этот метод не дает эффекта «последствия», что делает возможным вторичный рост бактерий в обработанной воде [2, 11].

К физическому методу обеззараживания воды относится гамма-излучение. Под действием гамма-излучения в процессе радиолиза воды образуются свободные радикалы, которые оказывают губительное действие на бактериальную клетку. Дозы порядка 25 000–50 000 Р вызывают гибель практически всех бактериальных форм. В установках для обеззараживания воды можно использовать отработанные тепловыделяющие элементы атомных реакторов. Однако высокие требования к технике безопасности при эксплуатации установки, отсутствие эффекта «последствия» и способа оперативного контроля ограничивают использование этого метода на практике централизованного питьевого водоснабжения [2].

Физический метод обеззараживания воды ультразвуком до конца неясен. Эффект обеззараживания состоит в том, что ультразвук вызывает образование пустот в сильно завихренном пространстве, что ведет к разрыву клеточной стенки бактерии. К преимуществам ультразвуковой обработки воды можно отнести широкий спектр антимикробного действия, отсутствие влияния на органолепти-



ческие свойства воды, независимость бактерицидного эффекта от физико-химических свойств воды, достаточную техническую надежность. Высокая бактерицидная эффективность достигается при частоте ультразвука от 20 000 до 1 000 000 Гц. Очистка воды ультразвуком считается одним из новейших и перспективных методов обеззараживания несмотря на его дороговизну. В настоящее время технологические основы использования ультразвука в водоподготовке не разработаны [12].

Еще одним перспективным способом обеззараживания питьевой воды является ее обработка импульсными электрическими разрядами (ИЭР). Электрогидравлический эффект возникает в результате выделения большого количества энергии между электродами, помещенными в обрабатываемую воду. Высоковольтный (20–100 кВ) или низковольтный (1–10 кВ) разряд происходит за доли секунды и сопровождается мощными ударными волнами, явлениями кавитации, ультрафиолетовыми и ультразвуковыми импульсами, возникновением магнитных и электрических полей, в результате чего происходит уничтожение в воде практически всех патогенных микроорганизмов. Бактерицидные свойства сохраняются до 4 месяцев. Основным преимуществом данного метода является экологическая чистота. Однако этот способ имеет ряд недостатков, в частности относительно высокую энергоемкость (0,2–1 кВт·ч/м³) и, как следствие, дороговизну [2].

Каждый из рассмотренных методов обеззараживания питьевой воды имеет ряд преимуществ и недостатков. Широко применяемый на практике метод хлорирования, несмотря на свою эффективность, приводит к образованию токсичных и мутагенных для организма человека и окружающей среды веществ. Озонирование воды является взрывоопасным и дорогостоящим методом. УФ-обеззараживание воды значительно зависит от физико-химических свойств воды. Недостаточная изученность, дороговизна и сложность технического обеспечения использования методов гамма-излучения, ультразвука и обработки воды импульсными электрическими разрядами делают данные методы недостаточно приемлемыми на практике.

К наиболее перспективным из представленных методов обеззараживания воды можно отнести экологически чистый и экономически выгодный метод обработки воды пероксидом водорода. Однако применение данного метода в промышленных масштабах требует дополнительного изучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хотько, Н. И. Водный фактор в передаче инфекции / Н. И. Хотько, А. П. Дмитриев. – Пенза : [Б. и.], 2002. – 232 с. – Текст : непосредственный.
2. Журавлевич, Н. Е. Обеззараживание питьевой воды : метод рекомендации / Н. Е. Журавлевич. – Минск : БГМУ, 2017. – 26 с. – ISBN 978-985-567-691-2. – Текст : непосредственный.
3. Онищенко, Г. Г. Эффективное обеззараживание воды – основа профилактики инфекционных заболеваний / Г. Г. Онищенко. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2005. – № 12. – С. 8–12.
4. Муллина, Э. Р. Химические аспекты процесса хлорирования воды / Э. Р. Муллина. – Текст : непосредственный // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 12 (часть 4) – С. 609–613.
5. Wang, A.-Q. Factors affecting the water odor caused by chloramines during drinking water disinfection / Wang A.-Q., Lin Y.-L., Xu B., et al. // Science of the Total Environment. – 2018. – Volume 639. – P. 687–694.
6. Water Disinfection with Chlorine and Chloramine. – URL: www.cdc.gov.
7. Kasprzyk-Hordern, B. Catalytic ozonation and methods of enhancing molecular ozone



reactions in water treatment / В. Kasprzyk-Hordern, M. Ziolek, J. Nawrocki // Applied Catalysis B: Environmental. – 2003. – Volume 46. – P. 639–669.

8. Орлов, В. А. Озонирование воды / В. А. Орлов. – Москва : Стройиздат, 1984. – 88 с. – Текст : непосредственный.

9. Пероксид водорода в технологиях обеззараживания воды: эколого-экономический аспект : монография / И. А. Денисова, Т. И. Дровозова, Н. В. Ляшенко [и др.] ; под ред. В. В. Денисова. – Новочеркасск : УПЦ Набла ЮРГТУ (НПИ), 2011. – 150 с. – ISBN 978-5-88998-864-9. – Текст : непосредственный.

10. Скурлатов, Ю. И. Определяющая роль окислительно-восстановительных процессов в формировании качества природной водной среды / Ю. И. Скурлатов. – Текст : непосредственный // Успехи химии. – 1991. – Том 60. – № 3. – С. 140–142.

11. Похил, Ю. Н. Применение УФ-обеззараживания в системах водоснабжения и водоотведения г. Новосибирска / Ю. Н. Похил, В. Н. Новошинцев, А. Р. Камалетдинов, С. В. Костюченко, А. А. Ткачев, А. Д. Смирнов. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2019. – № 4. – С. 32–35.

12. Василяк, Л. М. Возможности использования ультразвука для обеззараживания воды / Л. М. Василяк, А. Д. Смирнов. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2014. – № 9. – С. 49–59.

VASILEV Aleksey Lvovich¹, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry; TARASOV Aleksandr Sergeevich², leading process engineer, GUSEVA Lubov Demyanovna³, leading engineer

MODERN METHODS OF DRINKING WATER DISINFECTION

¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-87;
e-mail: k_viv@nngasu.ru

²JSC “Dzerzhinsky vodokanal”
43, Dzerzhinsky Ave., Dzerzhinsk, 606019, Russia. Tel.: +7 (8313) 25-96-17;
e-mail: sekretar@istok.sinn.ru

³FSBA “Laboratory analysis and technical measurement center in the Volga Federal District”
1A, Goncharov St., Nizhny Novgorod, 606300, Russia. Tel.: +7 (831) 437-29-07;
e-mail: centrpf@clatipfo.ru

Key words: water quality, disinfection of drinking water, ozonation, hydrogen peroxide, chlorination.

The article describes the main modern methods of disinfection of drinking water, having practical application and allowing to ensure safe water supply to the population, with indication of their advantages and disadvantages.

REFERENCES

1. Khotko N. I., Dmitriev A. P. Vodny faktor v peredache infektsii [The water factor in the transmission of infection]. Penza, 2002, 232 p.

2. Zhuravlevich N. E. Obezrazhivanie pitevoy vody: metod, rekomendatsii [Disinfection of drinking water: method, recommendations]. Minsk: BSMU, 2017, 26 p. – ISBN 978-985-567-691-2.

3. Onischenko G. G. Effektivnoe obezrazhivanie vody – osnova profilaktiki infektsionnykh zabolevaniy [Effective disinfection of water – the basis of prevention of infectious diseases] // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary equipment], 2005,



№ 12. P. 8–12.

4. Mullina E. R. Khimicheskie aspekty protsessa khlorirovaniya vody [Chemical aspects of the water chlorination process] // Mezhdunarodny zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2016, № 12 (part 4). P. 609–613.
5. Wang A.-Q., Lin Y.-L., Xu B., et al. Factors affecting the water odor caused by chloramines during drinking water disinfection // Science of the Total Environment. 2018, Vol. 639. P. 687–694.
6. Water Disinfection with Chlorine and Chloramine. URL: www.cdc.gov.
7. Kasprzyk-Hordern B., Ziolek M., Nawrocki J. Catalytic ozonation and methods of enhancing molecular ozone reactions in water treatment // Applied Catalysis B: Environmental. 2003. Vol. 46. P. 639–669.
8. Orlov V. A. Ozonirovanie vody [Ozonation of water]. Moscow: Stroyizdat, 1984, 88 p.
9. Denisova I. A., Drovovozova T. I., Lyashenko N. V., et al. Peroksid vodoroda v tekhnologiyakh obezrazhivaniya vody: ekologo-ekonomicheskii aspekt [Hydrogen peroxide in water disinfection technologies: ecological and economic aspect]: monografiya. Pod red. V.V. Denisova. – Novocherkassk: UPTs Nabla YuRGU (NPI), 2011, 150 p. – ISBN 978-5-88998-864-9.
10. Skurlatov Yu. I. Opredelyayuschaya rol okislitelno-vosstanovitelnykh protsessov v formirovani kachestva prirodnoy vodnoy sredy [The determining role of redox processes in the formation of the quality of the natural aquatic environment] / Uspekhi khimii [Successes of Chemistry], 1991, Vol. 60, № 3. P. 140–142.
11. Pokhil Yu. N., Novoshintsev V. N., Kamaletdinov A. R., Kostyuchenko S. V., Tkachyov A. A., Smirnov A. D. Primenenie UF-obezrazhivaniya v sistemakh vodosnabzheniya i vodootvedeniya g. Novosibirsk [Application of UV disinfection in water supply and sanitation systems of Novosibirsk] / Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary equipment], 2019, № 4. P. 32–35.
12. Vasilyak L. M., Smirnov A. D. Vozmozhnosti ispolzovaniya ultrazvuka dlya obezrazhivaniya vody [Possibilities of using ultrasound for water disinfection] / Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary equipment], 2014, № 9. P. 49–59.

© А. Л. Васильев, А. С. Тарасов, Л. Д. Гусева, 2022

Получено: 28.06.2022 г.

УДК 628.247

М. В. ШУВАЛОВ¹, канд. техн. наук, доц., директор Академии строительства и архитектуры; **Р. М. ШУВАЛОВ²**, канд. техн. наук, гл. специалист отдела проектирования

О ПРОЦЕДУРЕ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ТРУБОПРОВОДОВ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

¹ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»

Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 224.

Тел.: (846) 242-17-84; факс: (846) 242-17-84; эл. почта: mshuv57@gmail.com

²ООО НПФ «ЭКОС»

Россия, 443010, г. Самара, ул. Чапаевская, д. 234, к. 1. Тел.: (846) 242-41-70

Ключевые слова: канализационная сеть, капитальный ремонт, реконструкция, восстановление трубопроводов, реновация трубопроводов, санация трубопроводов.