

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССОВ ПОДАВЛЕНИЯ РОСТА БАКТЕРИЙ ПРИ ДЕЗИНФЕКЦИИ ВОДЫ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ¹

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF BACTERIAL GROWTH SUPPRESSION PROCESSES DURING DISINFECTION OF WATER IN VARIOUS METHODS

A. Israpilova
A. Adieva
P. Bekshokova
A. Magomedova
Z. Alieva
A. Isaev

Summary. Introduction. *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* spp. pose the greatest threat to human health due to their growing resistance to antibiotics. In Makhachkala, the largest water bodies are the October Revolution Canal (ORC), which is used for the central water supply of the city, and water treatment facilities — systems designed to purify wastewater.

Purpose of the study. Comparative assessment of the effect of hydrogen peroxide and hypochlorite on microorganisms of sanitary and epidemiological significance, as well as determining the effectiveness of ultraviolet (UV) disinfection in relation to bacterial contamination of drinking water.

Materials and methods. Three samples of drinking water were used: bottled drinking water, tap water (Makhachkala) and natural water from the ORC before delivery to consumers. Then the water samples were processed. Pure cultures of *E. coli*, *Staph. aureus* and *Salmonella* spp. bacteria were used for control in the work.

Results. When processing water samples using a modified method, a pronounced bactericidal effect was found, which is expressed in a decrease in CFU. The maximum antimicrobial effect was observed with a combination of UV with peroxide and UV with hypochlorite.

Limitations of the study. In tap water and natural water from KOR, pathogens of serious diseases were identified. Therefore, it is necessary to expand knowledge about water sources as reservoirs and distributors of these pathogens.

Conclusion. The proposed highly effective water treatment methods can be of practical importance for providing city residents with water purified from microorganisms.

Keywords: water purification, oxidizing agents, pathogenic microorganisms.

Исрапилова Ашура Исмаиловна

Аспирант, Прикаспийский институт
биологических ресурсов Дагестанского Федерального
Исследовательского центра Российской Академии Наук
(Махачкала)
ms.israpilova98@bk.ru

Адиева Айна Ахмедовна

Доктор биологических наук, доцент, Прикаспийский
институт биологических ресурсов Дагестанского
Федерального Исследовательского центра
Российской Академии Наук (Махачкала)
adieva-m@mail.ru

Бекшокова Патимат Асадулламагомедовна

Кандидат биологических наук, доцент, Дагестанский
государственный университет (Махачкала)
patenka2009@mail.ru

Магомедова Асият Германовна

Кандидат химических наук, старший преподаватель,
Дагестанский государственный университет
(Махачкала)
asyat_g@mail.ru

Алиева Заура Абдурахмановна

кандидат биологических наук, доцент,
Дагестанский государственный педагогический
университет им. Р. Гамзатова (Махачкала)
Alza67@mail.ru

Исаев Абдулгалим Будаевич

Кандидат химических наук, доцент, Дагестанский
государственный университет (Махачкала)
abdul-77@yandex.ru

Аннотация. Введение. Наибольшую угрозу для здоровья человека из-за их растущей устойчивости к антибиотикам, представляют *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* и *Salmonella* spp. В г. Махачкала самыми крупными водными объектами является канал им. Октябрьской Революции (КОР), который используется для центрального водоснабжения города и водоочистительные сооружения — системы, предназначенные для очистки сточных вод. **Цель исследования.** Сравнительная оценка действия пероксида водорода и гипохлорита на микроорганизмы, имеющие санитарно-эпидемиологическое значение, а также, определение эффективности ультрафиолетового (УФ) обеззараживания в отношении бактериального загрязнения питьевой воды.

Материалы и методы. Использовали три образца проб питьевой воды: бутилированная питьевая вода, водопроводная вода (г. Махачкала) и природная вода из КОРа до подачи потребителям. Далее проводили обработку проб воды. Для контроля в работе использовали чистые культуры бактерий *E. coli*, *Staph. aureus* и *Salmonella* spp.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Главы РД № 16/2023 (руководитель Магомедова А.Г.)



Введение

Дефицит питьевой воды является одной из самых серьезных глобальных проблем современности [14; 28]. Необходимость в эффективных и экологически «чистых» способах обеззараживания питьевой воды с точки зрения устранения загрязнений и уничтожения бактерий будет расти, особенно в развивающихся странах, где в настоящее время практически отсутствует обработка питьевой воды для подачи населению [9; 10; 15; 26].

Обеззараживание воды является одним из необходимых способов устранения, передающихся через воду патогенов, и предотвращения инфекционных заболеваний. Патогенные микроорганизмы из различных источников при попадании в водную среду могут быстро распространяться через системы водоснабжения и приводят к росту опасных заболеваний у населения [2; 11; 15; 28]. Особую опасность для общественного здоровья представляют такие инфекционные агенты, как холерный вибрион (*Vibrio cholerae*), криптоспоридии (*Cryptosporidium*), шигеллы (*Shigella*), кишечная палочка (*Escherichia coli*) и энтеровирусы [4; 19]. Поэтому в настоящее время для обеззараживания воды используют различные высокоэффективные способы дезинфекции, такие как хлорирование [36], озонирование [20], гипохлорит натрия [34] и ультрафиолетовое (УФ) излучение [15; 22].

Использование процессов обеззараживания питьевой воды позволяет эффективно контролировать содержание микробных патогенов в воде и предотвратить, таким образом, появление заболеваний у населения. В то же время, некоторые исследования показывают, что на здоровье населения могут влиять побочные продукты обеззараживания воды [29]. В частности, при хлорировании воды могут образоваться хлорорганические соединения, обладающие мутагенными, канцерогенными и генотоксическими свойствами [1; 7; 27]. Кроме того, для предотвращения повторного роста патогенов за-

Результаты. При обработке проб воды модифицированным методом был обнаружен ярко выраженный бактерицидный эффект, который выражается в уменьшении КОЕ. Максимальный противомикробный эффект наблюдался при сочетании УФ с перекисью и УФ с гипохлоритом.

Ограничения исследования. В водопроводной воде и природной воде из КОР, были идентифицированы возбудители серьезных заболеваний. Поэтому необходимо расширить знания об источниках воды как резервуарах и распространителях данных патогенов.

Заключение. Предложенные высокоэффективные методы обработки воды могут иметь прикладное значение для обеспечения жителей городов очищенной от микроорганизмов водой.

Ключевые слова: очистка воды, окислители, патогенные микроорганизмы.

стью в некоторых случаях при хлорировании добавляют большое количество хлора, что приводит к значительным концентрациям остаточного хлора, для удаления которого используют процесс дехлорирования другими соединениями также оказывающим токсическое влияние [3; 24].

Из-за серьезных проблем безопасности при использовании хлорирования в качестве способа обеззараживания воды в настоящее время используется также ряд альтернативных методов [18; 27]. Например, озонирование является более эффективным способом и обладает сильными биоцидными свойствами [23]. Однако, приводятся данные, что при озонировании также возможно появление канцерогенных побочных продуктов, таких как альдегиды и бромированные соединения, которые могут вызвать рак почек [3; 21]. В случае обработки озоном повторный рост микроорганизмов не может быть предотвращен остаточным озоном, поскольку время жизни озона в воде небольшое. Среди альтернативных способов обеззараживания воды, которые не приводят к образованию токсичных побочных продуктов можно выделить использование УФ-облучения [15; 17]. Вместе с достоинствами использования УФ-излучения для обеззараживания воды существуют и потенциальные недостатки, к которым можно отнести влияние на эффективность обеззараживания наличия взвешенных частиц, а также возможность восстановления патогенов после незначительного повреждения [32]. Поврежденная УФ-излучением ДНК патогенов может быть восстановлена с помощью процессов фотореактивации и/или темновой репарации [31].

В последнее время значительный интерес у исследователей вызывает использование пероксида водорода в качестве обеззараживающего агента при обработке питьевой воды [30]. Такие исследования показали эффективность использования пероксида водорода как для уничтожения органических соединений, так и для инактивации патогенных микроорганизмов. Одновременное использование пероксида водорода

и УФ-излучения приводит к образованию в воде высокоактивных гидроксильных радикалов, способствующих эффективному обеззараживанию питьевой воды [35]. Несмотря на то, что многочисленные исследования показали эффективность обеззараживания воды различными способами, отсутствуют сведения о сравнении методов дезинфекции для подавления роста бактерий. В данной работе продемонстрированы сравнительные характеристики подавления роста бактерий при использовании различных способов обеззараживания питьевой воды.

Материалы и методы

Отбор проб и реактивы. Для исследования использовали три образца проб питьевой воды: бутилированная питьевая вода, водопроводная вода (г. Махачкала) и природная вода из канала им. Октябрьской революции до подачи потребителям (г. Махачкала). Гипохлорит натрия с концентрацией 500 мг/л активного хлора — синтезировали электролизом поваренной соли. Пероксид водорода с концентрацией 0,18 ммоль/л — синтезировали электрохимическим восстановлением кислорода в водопроводной воде.

Обработку исследуемых образцов воды ультрафиолетом проводили с помощью ртутной лампы высокого давления мощностью 250 Вт с длиной волны 365 нм. Лампа располагалась над образцами на расстоянии 10 см при контролируемой температуре 26°C.

Штаммы. Для контроля в работе использовали чистые культуры бактерий *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538p) и *Salmonella* spp. (A-225), полученные из ГКПМ — Оболенск. Инокулят был приготовлен методом прямого суспендирования. Затем суспензию разбавляли до концентрации $1-2 \times 10^5$ КОЕ/мл. Суспензия была использована в течение 15 минут, инкубировали при 37°C в течение 48 часов и подсчитывали число КОЕ/мл.

Питательные среды. Посевы проводили с использованием специальных дифференциально-диагностических питательных сред — элективная солевая среда, предназначенная для селективного выделения и подсчета патогенных стафилококков, агар МакКонки для селективного выделения и идентификации энтеробактерий и кишечных грамотрицательных бактерий и среда СШ (Плоскирева) для выявления *Salmonella* и *Shigella*. Для подсчета общего микробного числа использовали трипказо-соевый агар, предназначенный для выделения неприхотливых микроорганизмов, не имеющих специфических ростовых потребностей. Эксперименты по дезинфекции воды проводились в 3-х кратных повторях при одинаковых условиях инкубации. Для оценки противомикробного действия были взяты пробы воды

из различных источников: вода из канала имени Октябрьской Революции (КОР), вода водопроводная и вода бутилированная. Каждая из данных проб подвергалась воздействию гипохлорита натрия и перекиси водорода, а также ультрафиолетовому облучению.

Определение общего микробного числа (ОМЧ)

проводили в соответствии с методикой [8], для исследования были получены серии последовательных разведений. Вода из КОР — в 1000 раз (10^4), вода из водопровода — в 10 000 (10^3), контроль (вода бутилированная) — в 1000 раз (10^3). Определение класса качества воды исследуемых водных объектов по бактериальным показателям проводили в соответствии с данными таблицы 1.

Таблица 1.

Классы качества воды водных объектов по бактериальным показателям

Показатель	Классы качества воды				
	предельно чистая	чистая	удовлетворительно чистая	загрязненная	грязная
Численность гетеротрофных бактерий, тыс. кл/мл	<0,1	0,1–1,0	1,1–5,0	5,1–10,0	> 10,0

[13]

Для определения антибактериальной активности различных обработок воды, пробы были внесены на питательную среду по 100 мкл и после 24 часовой инкубации в термостате при 37°C оценивали наличие или отсутствие видимого роста. Эффективность подавления была рассчитана по формуле:

$$A = \log B_0 - \log \sum_{i=1}^n B_i, n$$

где B_0 — начальная концентрация суспензии, КОЕ/мл, B_i — концентрация суспензии после обработки, КОЕ/мл, nA — количество проведенных тестов.

Результаты

Согласно результатам нашего исследования, представленным в таблице 2, образцы воды исследуемых водных объектов по бактериальным показателям соответствуют классу качества воды «удовлетворительно чистая» и «загрязненная» (Рис. 1).

Численность гетеротрофных бактерий, проросших за время инкубации в чашках Петри, составила для образцов из водопровода — 4800 кл/мл (удовлетворительно чистая); для образцов из канала им. Октябрьской Революции — 9000 кл/мл (загрязненная); для контроля — 250 кл/мл (чистая).

Таблица 2.
Оценка качества воды по бактериальным показателям

Объект исследования	Численность гетеротрофных бактерий, тыс. кл./мл	Класс качества воды
Водопроводная вода	$4,8 \pm 0,5$	удовлетворительно чистая
КОР	$9,0 \pm 1,1$	Загрязненная
контроль	$0,25 \pm 0,1$	Чистая

Метод определения общего микробного числа позволяет выявить колонии бактерий, образованных разными штаммами, поэтому по результатам данного метода нельзя делать однозначные выводы о наличии патогенной флоры в исследуемой пробе. Однако высокое микробное число свидетельствует об общей бактериологической загрязненности воды и высокой вероятности наличия патогенных организмов.

В следующей серии экспериментов посеvy проводили на селективные диагностические среды для иден-

тификации бактерий с параллельным приготовлением и окрашиванием препаратов. В ходе эксперимента с селективными средами удалось идентифицировать стафилококк, кишечную палочку и сальмонеллу.

При обработке проб воды, в целом, был обнаружен ярко выраженный бактерицидный эффект, который выражается в уменьшении КОЕ. Результаты показаны на рисунках 2–4. Представлены данные по числу КОЕ/мл при посеве проб из водопровода и КОРа, так как в бутилированной воде было выявлено незначительное количество бактерий.

На первые сутки максимальное количество 25 КОЕ было обнаружено для кишечной палочки, для сальмонеллы и стафилококка в 2 раза меньше, 7–14 КОЕ/мл. При обработке УФ и перекисью достигается значительный эффект, но в чашках Петри можно было увидеть до 5 КОЕ/мл. При обработке гипохлоритом на 1 сутки в чашках Петри бактерии выявлены не были. Максимальный противомикробный эффект наблюдался при сочетании УФ с перекисью и УФ с гипохлоритом. Через 48 часов

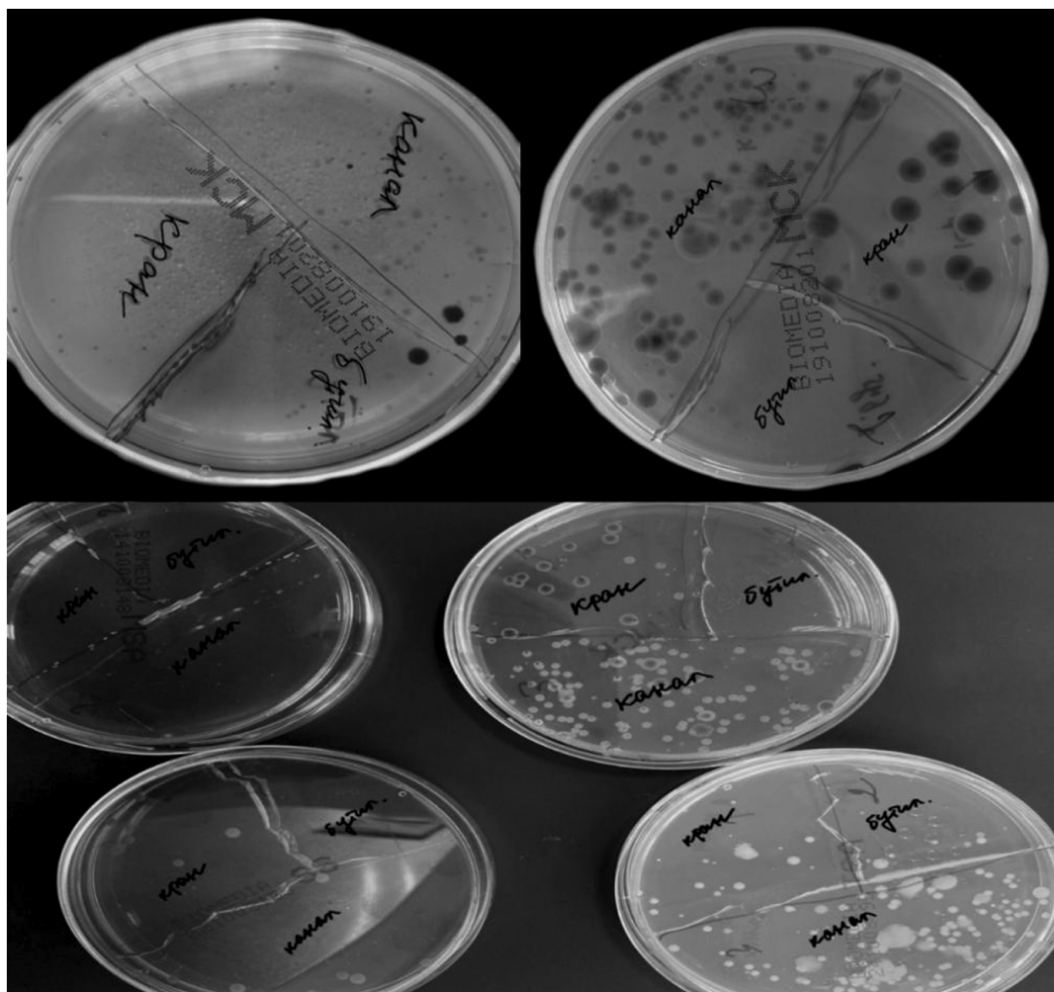


Рис. 1. Анализ бактериального роста в водопроводной воде, из канала имени Октябрьской Революции и бутилированной, без предварительной обработки

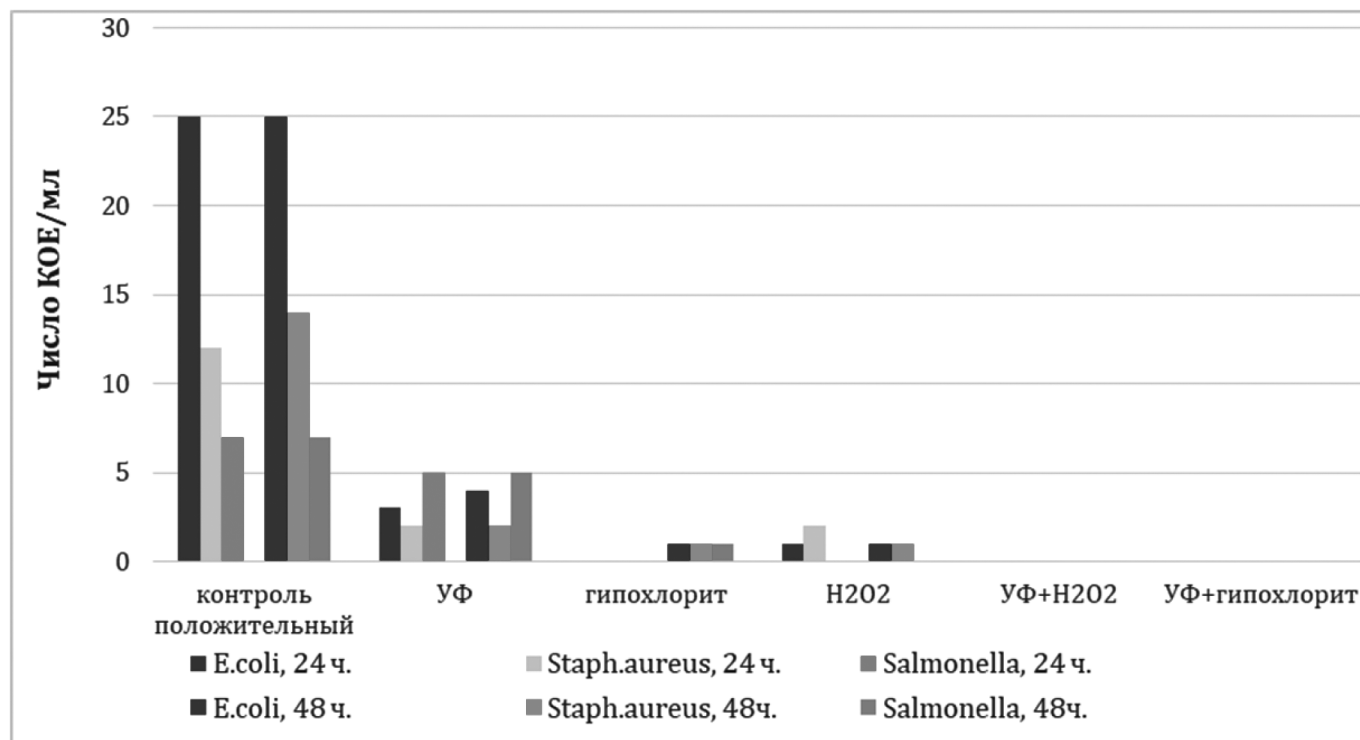


Рис. 2. Формирование колониеобразующих единиц в пробе водопроводной воды через 24 и 48 часов при различных способах обработки

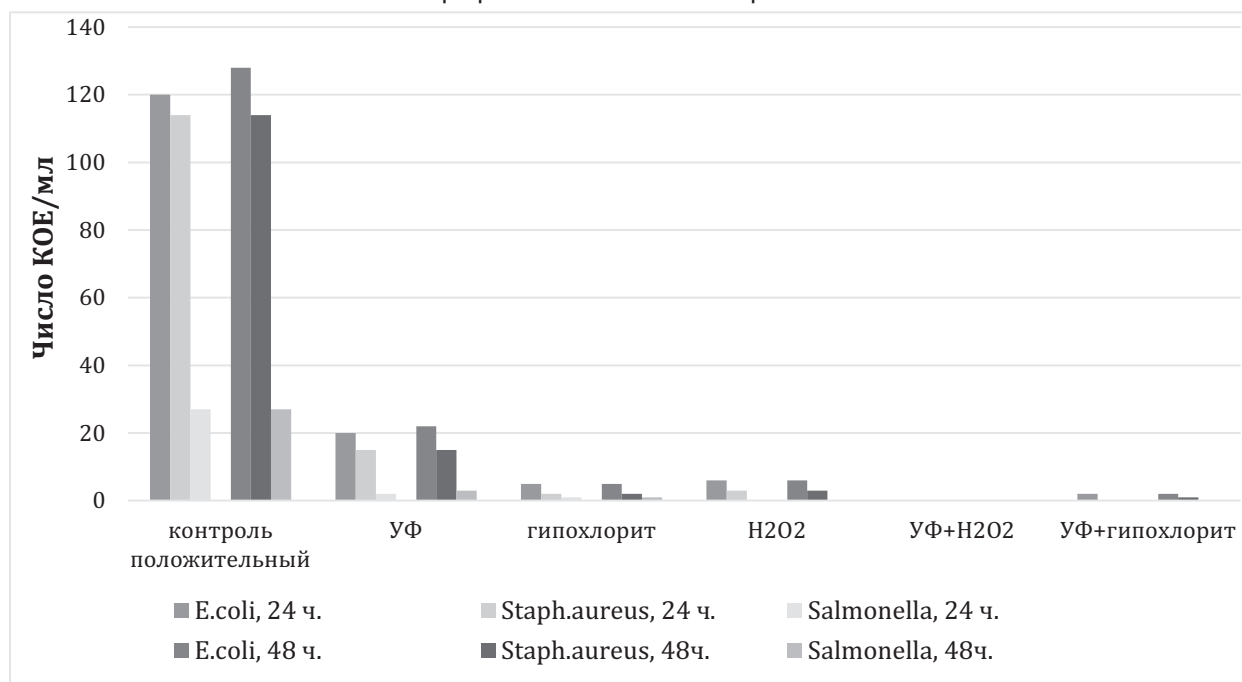


Рис. 3. Формирование колониеобразующих единиц в пробе воды из канала им. Октябрьской революции через 24 и 48 часов при различных способах обработки

наблюдения колонии имеющихся бактерий увеличились в размере и появилось несколько новых колоний в воде без обработки (К+), в водопроводной воде, обработанной гипохлоритом и обработанной H_2O_2 без УФ.

На рисунке 3 приведены результаты исследования воды из канала им. Октябрьской революции, которую мы отнесли по количеству общего микробного числа к загрязненной.

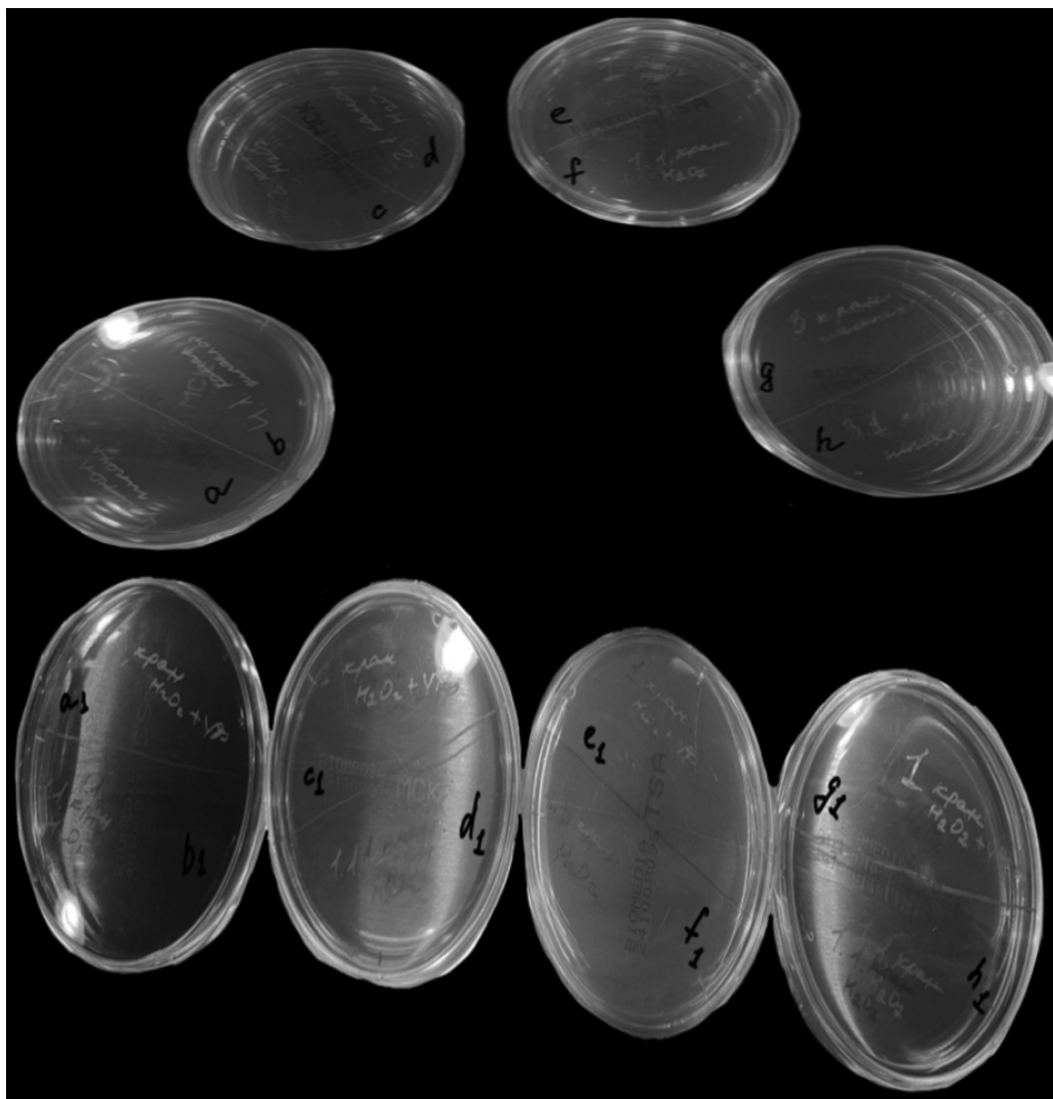


Рис. 4. Анализ бактериального роста в водопроводной воде, из канала имени Октябрьской Революции и бутилированной, с различными видами обработки.

а — вода из канала, обработанная гипохлоритом +УФ; b — вода из канала, обработанная гипохлоритом без УФ-излучения; c — вода из канала, обработанная перекисью водорода +УФ-излучение; d — вода из канала, обработанная перекисью водорода без УФ; e, a1, c1, e1, g1 — вода из крана обработанная перекисью водорода +УФ; f, b1, d1, f1, h1 — вода из крана обработанная перекисью водорода без УФ; g — вода из крана обработанная гипохлоритом +УФ; h — вода из крана обработанная гипохлоритом без УФ

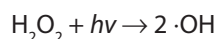
В данной пробе воды число колониеобразующих единиц значительно превышало 100 КОЕ/мл для кишечной палочки и стафилококка, обсемененность сальмонеллами была невысокой — 22 КОЕ/мл. При обработке воды со средней загрязненностью сочетание УФ-излучения с пероксидом водорода и с гипохлоритом натрия приводит к полной дезинфекции воды, при высокой обсемененности более выраженный (100 %) антибактериальный эффект достигается при сочетании УФ-излучения и пероксида водорода. При низкой бактериальной нагрузке гипохлорит способен обеззараживать пробы воды на непродолжительное время (24 часа), но эффект нестойкий, потому что на 2 сутки был выявлен рост единичных бактериальных клеток. Сочетанное воздействие

гипохлорита и УФ обеспечивает длительное стойкое обеззараживание воды. При высокой обсемененности предпочтительным будет являться сочетание пероксида и УФ.

Обсуждение

Гибридные методы, основанные на процессах окисления гидроксильным радикалом и разрабатываемые в последнее время для использования как при обеззараживании воды, так и при удалении различных органических соединений привлекают большое внимание из-за их высокой окислительной способности [5]. По сравнению с другими процессами обеззараживания

воды использование УФ/ H_2O_2 не приводит к поступлению в питьевую воду дополнительных ионов, как в случае использования гипохлорита натрия или УФ/ NaClO [33]. В процессе обеззараживания при использовании УФ/ H_2O_2 основную роль играют гидроксильные радикалы, образующиеся при разложении пероксида водорода по следующей схеме [25]



Наиболее быстрый рост колоний *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* и *Salmonella* spp в контрольном образце наблюдалось при использовании воды из канала им. Октябрьской революции (120–130 КОЕ/мл *Escherichia coli*, 115–119 КОЕ/мл *Staphylococcus aureus* и 22 КОЕ/мл *Salmonella* spp). Небольшая скорость образования колоний в бутилированной воде связано с ее предварительным обеззараживанием с использованием озона и УФ-облучения перед розливом. Относительно невысокий рост колоний показала водопроводная вода, используемая для питья и хозяйственных нужд в г. Махачкала, что также связано с ее предварительным обеззараживанием перед подачей потребителям.

Сравнение подавления роста бактерий и эффективности обеззараживания питьевой воды с использованием различных подходов показало, что наиболее целесообразным является использование комбинированных методов обработки. Наибольшую эффективность при подавлении роста бактерий как в предварительно обеззараженной водопроводной воде, так и в воде до обеззараживания из канала им. Октябрьской революции, используемой для питьевого водоснабжения г. Махачкалы, показало совместное использование пероксида водорода и УФ-облучения. Относительно высокую эффективность для обеззараживания воды также показало использование гипохлорита натрия и УФ-облучения.

Однако, для использования пероксида водорода при обеззараживании питьевых вод необходимо решить вопросы, связанные с транспортировкой, хранением и обращением с H_2O_2 , что представляют собой потенциальную опасность и дополнительные расходы. В связи с этим необходимо разрабатывать технологии синтеза пероксида водорода непосредственно на месте потребления, как это уже решено с гипохлоритом натрия в качестве обеззараживающего реагента для питьевых вод.

Экономическое обоснование проекта

В России основным реагентом для обеззараживания питьевой воды до недавнего времени являлся жидкий хлор. В последние годы многие города встали на путь реконструкции своих водопроводных систем с учетом современных требований к безопасности, в том числе использования гипохлорита натрия.

В настоящее время операторы водного бизнеса используют два способа получения гипохлорита: поставка от производителя или производство на месте его применения.

Производство гипохлорита натрия на месте осуществляется в основном на станциях небольшой или средней производительности. На крупных сооружениях применяется, как правило, товарный гипохлорит натрия.

Подход к выбору метода получения гипохлорита основывается на экономическом анализе. При наличии существующего производства достаточной производительности и высокого качества при транспортной доступности выбор, как правило, делается в пользу закупки на свободном рынке. В том случае, если доступного производства нет, рассматривается вариант организации специального производства гипохлорита натрия для группы водопроводных станций [6].

При применении предлагаемого нами комбинированного способа обеззараживания воды с использованием и гипохлорита и УФ, требуется учесть основные статьи расхода при эксплуатации УФ-установок — затраты на электроэнергию, замену ламп и щавелевую кислоту для промывки.

Электропитание установок осуществляется от сети переменного тока 220/380 В. Удельное потребление электроэнергии составляет 10–20 Вт на м^3 обрабатываемой воды.

Ресурс работы бактерицидных УФ-ламп 9000–12000 часов (немного больше года). После этого лампы в обязательном порядке подлежат замене. Современные УФ-лампы достаточно надежны, по статистике, частота замены ламп вследствие поломок не превышает 1 % от их общего количества. При правильной эксплуатации защитные кварцевые чехлы служат не менее 10–15 лет.

Промывка установки раствором щавелевой кислоты необходима для удаления с поверхности кварцевого чехла солей железа и кальция. Периодичность промывки при концентрации в исходной воде железа менее 0,3 мг/л и жесткости менее 7 мг·экв/л. — не чаще одного раз в месяц или по показаниям УФ-датчика.

Постоянный контроль обслуживающего персонала за работой УФ-установок не требуется. В аварийной ситуации на пульт диспетчера поступает сигнал об аварии. Присутствие персонала необходимо лишь для проведения промывки один раз в месяц на период не более трех часов.

Таким образом, при внедрении метода УФ-обеззараживания средняя стоимость обработки 1 м^3

воды, включающая капитальные и эксплуатационные затраты за пять лет составит от 10 до 60 коп [6].

С учетом калькуляции водоочистки в городе Махачкале, плата за 1 м³ холодной воды на питьевое водоснабжение (без НДС) на период 01.07.2025 — 31.12.2025 составляет 35,86 руб [36]. Таким образом, внедрение УФ обработки существенно не повысит плату и расходы населения и коммунальных служб, даже если учесть прибавку в себестоимости в 60 коп.

Заключение

Одним из главных вызовов экологии является изменение климата, которое может привести к повышению уровня моря, изменению температуры и изменению со-

става воды. Эти изменения могут иметь серьезные последствия для водных экосистем, такие как уменьшение доступности пресной воды, изменения в пищевой цепи, а также ухудшение качества воды.

Разработка методов очистки воды необходима для обеспечения безопасности и здоровья людей, а также сохранения окружающей среды. В целом, это важный шаг в обеспечении безопасности и благополучия людей и окружающей среды, а также в сохранении природных ресурсов и биоразнообразия. В данной работе предложены оригинальные высокоэффективные методы обработки воды, которые могут иметь прикладное значение для обеспечения жителей городов очищенной от микроорганизмов водой.

ЛИТЕРАТУРА

- Алешня В.В., Журавлёв П.В., Панасовцев О.П., Седова Д.А. Экспериментальное изучение влияния активного хлора на патогенные и потенциально патогенные микроорганизмы / Ж. «Здоровье населения и среда обитания». — 2018. — № 10. — С. 17–21.
- Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации» (2018 — 2024 гг.).
- Журавлёв П.В., Алешня В.В., Шелякина Т.В., Головина С.В., Кондратенко Т.А., Айдинов Г.Т., Прядко Л.И., Киселёв А.И., Артёменко В.Ф., Белоглазова М.Д., Бията А.И., Кораблина М.В. Влияние условий водопользования на онкозаболеваемость населения // Гигиена и санитария. — 2000. — № 6. — С.28–30.
- Журавлёв П.В., Головина С.В., Алешня В.В., Цацка А.А., Карцева Н.П. Барьерная роль водоочистных сооружений в отношении условно-патогенных микроорганизмов. // Гигиена и санитария. — 1997. — № 4. — С. 15–16.
- Исаев А.Б., Магомедова А.Г. Новые технологии очистки сточных вод от красителей на основе окислительных процессов // Вестник Московского Университета. Сер. Химия. 2022; 77: С.181–196 (Isaev A.B., Magomedova A.G. Advanced oxidation processes based emerging technologies for dye wastewater treatment // Moscow University Chemistry Bulletin. 2022; 77: 181–196)
- Капитальные и эксплуатационные затраты при использовании УФ-установок для обеззараживания подземных вод. [Электронный ресурс]. <https://www.uv-tech.ru/articles/kapitalnye-i-ekspluatatsionnye-zatraty-pri-ispolzovanii-uf-ustanovok-dlya-obezzarazhivaniya-podzemny/>.
- Марченко Б.И., Журавлев П.В., Плуготаренко Н.К., Юхно А.И. Оценка канцерогенного риска от воздействия хлорорганических соединений в воде систем централизованного водоснабжения // Гигиена и санитария. — 2021. — Т. 100. — № 2. — С. 99–110.
- Мелехова О.П. Биологический контроль окружающей среды. Биоиндикация и биотестирование. Москва — 2010, Издательство Академия, 228 с.
- Онищенко Г.Г. О состоянии и мерах по обеспечению безопасности хозяйственно-питьевого водоснабжения населения РФ. // Гиг. и сан. — 2010. — № 3. — С. 4–7.
- Онищенко Г.Г. Гигиеническая оценка обеспечения питьевой водой населения РФ и меры по ее улучшению. // Гиг. и сан. — 2009. — № 2. — С. 4–13.
- Попова А.Ю. Стратегические приоритеты Российской Федерации в области экологии с позиции сохранения здоровья нации. Здоровье населения и среда обитания. 2014; (2): 4–7.
- Примин О.Г. Анализ мирового и отечественного опыта применения гипохлорита натрия для обеззараживания воды. — Системные технологии. — 2023. — № 2 (47). — С. 131–138.
- Принципы и методы биологического контроля в системе экологического мониторинга / Мелехова О.П., Егорова Е.И. Безопасность в техносфере. 2008; 5: 14–20.
- Рахманин Ю.А., Доронина О.Д. Стратегические подходы управления рисками для снижения уязвимости человека вследствие изменения водного фактора. // Гиг. и сан. — 2010. — № 2. — С. 8–13.
- Рахманин Ю.А., Загайнова А.В., Артемова Т.З., Гипп Е.К., Кузнецова К.Ю., Курбатова И.В., Грицюк О.В., Новожилов К.А., Асланова М.М., Мания Т.Р., Федец З.Е., Недачин А.Е., Дмитриева Р.А., Доскина Т.В., Абрамов И.А., Журавлев П.В. Определение унифицированных доз ультрафиолетового обеззараживания воды от бактериального, вирусного и паразитарного загрязнения / Ж. Гигиена и санитария. 2019. — № 12. — С. 1342–1348
- Тарифы на холодное водоснабжение в Махачкале. [Электронный ресурс]. <https://my-gkh.ru/getcitytariff/makhachkala/8>.
- Choi Y., Choi Y. The effects of UV disinfection on drinking water quality in distribution systems. Water Res. 2010; 44: 115–122.
- DeMarini D.M. A review on the 40th anniversary of the first regulation of drinking water disinfection by-products. Environ Mol Mutagen. 2020; 61: 588–601.
- Gerba C.P., Gramos D.M., Nwachuku N. Comparative inactivation of enteroviruses and adenovirus 2 by UV light. Appl Environ Microbiol. 2002; 68: 5167–5169.
- He Z. et al. Chlorine-resistant bacteria in drinking water: Generation, identification and inactivation using ozone-based technologies. J Water Proc. Eng. 2023; 53: 103772.
- Heeb M.B. et al. Formation and reactivity of inorganic and organic chloramines and bromamines during oxidative water treatment. Water Res. 2017; 110: 91–101.
- Hijnen W.A.M., Beerendonk E.F., Medema G.J. Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. Water Res. 2006; 40: 3–22.

23. Lee O.M. et al. A comparative study of disinfection efficiency and regrowth control of microorganism in secondary wastewater effluent using UV, ozone, and ionizing irradiation process. *J Hazard Mater.* 2015; 295: 201–208.
24. Li X.F., Mitch W.A. Drinking Water Disinfection Byproducts (DBPs) and Human Health Effects: Multidisciplinary Challenges and Opportunities. *Environ Sci Technol.* 2018; 52: 1681–1689.
25. Liu, A., et al. Analysis of degradation and pathways of three common antihistamine drugs by NaClO, UV, and UV-NaClO methods // *Environ Sci Pollut Res*, 2022; 29: 43984–44002.
26. Matilainen A. et al. An overview of the methods used in the characterisation of natural organic matter (NOM) in relation to drinking water treatment. *Chemosphere.* 2011; 83: 1431–1442.
27. Mazhar M.A. et al. Chlorination disinfection by-products in municipal drinking water — A review. *J Clean Prod.* 2020; 273: 123159.
28. Pichel N., Vivar M., Fuentes M. The problem of drinking water access: A review of disinfection technologies with an emphasis on solar treatment methods. *Chemosphere.* 2019; 218: 1014–1030.
29. Plewa M.J. et al. Occurrence, synthesis, and mammalian cell cytotoxicity and genotoxicity of haloacetamides: An emerging class of nitrogenous drinking water disinfection byproducts. *Environ Sci Technol.* 2008; 42: 955–961.
30. Silva K.J.S., Sabogal-Paz L.P. Exploring Potentials and Constraints of H₂O₂ Water Disinfection for Household Settings. *Water Air Soil Pollut.* 2021; 232: 1–11.
31. Sommer R. et al. Disinfection of Drinking Water by UV Irradiation: Basic Principles — Specific Requirements — International Implementations. *Ozone Sci Eng.* 2008; 30: 43–48.
32. Sommer R., Cabaj A. Evaluation of the Efficiency of a UV Plant for Drinking Water Disinfection. *Water Science and Technology.* 1993; 27: 357–362.
33. Sun P., Tyree C., Huang C.-H. Inactivation of *Escherichia coli*, bacteriophage MS2, and *Bacillus* spores under UV/H₂O₂ and UV/Peroxydisulfate advanced disinfection conditions // *Environ. Sci. Technol.* 2016; 50: 4448–4458.
34. Wang H. et al. Formation of disinfection by-products during sodium hypochlorite cleaning of fouled membranes from membrane bioreactors. *Front Environ Sci Eng.* 2021; 15: 1–11.
35. Zhao Q. et al. The UV/H₂O₂ process based on H₂O₂ in-situ generation for water disinfection. *J Hazard Mater Lett.* 2021; 2: 100020.
36. Zyara A.M. et al. The Effect of UV and Combined Chlorine/UV Treatment on Coliphages in Drinking Water Disinfection. *Water.* 2016; 8: 130.

© Исрапилова Ашура Исмаиловна (ms.israpilova98@bk.ru); Адиева Айна Ахмедовна (adieva-m@mail.ru);
Бекшокова Патимат Асадулламагомедовна (patenka2009@mail.ru); Магомедова Асият Германовна (asyat_g@mail.ru);
Алиева Заира Абдурахмановна (Alza67@mail.ru); Исаев Абдулгалим Будаевич (abdul-77@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»