

В настоящее время в связи с общим загрязнением источников водоснабжения остро встаёт вопрос о качестве воды питьевого и культурно- бытового назначения, так как это оказывает негативное влияние на состояние здоровья человека. Что касается вод культурно-бытового назначения, в частности используемых в плавательных бассейнах, строительство которых получило широкое распространение на сегодняшний день, этот вопрос стоит еще более остро, так как при их эксплуатации происходит накопление антропоксинов, выделяемых организмом человека, что требует жесткого контроля за обеспечением санитарно-гигиенической надёжности используемой воды. Для этой цели в практике применяются, в основном, хлорагенты: жидкий хлор, электролитический гипохлорит натрия, получаемый на месте потребления путём электролиза растворов поваренной соли или природных электролитов, и растворы химического гипохлорита натрия. Однако применение метода хлорирования в бассейнах в условиях массового нахождения людей представляет значительную опасность в связи как с его раздражающим действием на слизистую оболочку глаз и верхние дыхательные пути, так и с образованием в процессе обработки воды хлорорганических соединений (тригалогенметаны, хлорированные кетоны, хлорацетонитрилы, хлорированные уксусные кислоты, хлорированные альдегиды, хлорпикрин, хлорфенолы и др. [1-2]), токсичность которых превышает токсичность исходных веществ. К негативным моментам хлорирования относится и тот факт, что хлорпрепараты могут вызвать увеличение в воде концентрации некоторых ионов. Так, применение гипохлорита натрия, получаемого электролизом поваренной соли, приводит к увеличению концентрации хлоридов в 30-40 раз; применение гипохлорита кальция приводит к увеличению жёсткости воды, что снижает обеззараживающий эффект хлора [3]. Что касается озона, его канцерогенные свойства [4], отсутствие постэффекта при обеззараживании [5], образование токсичных продуктов, в том числе формальдегида, способствующего развитию онкологических заболеваний [6], сложность аппаратного оформления и необходимость в специальной подготовке обслуживающего персонала [7], а также отсутствие методов и аппаратуры для оперативного контроля эффективности обеззараживания воды снижают перспективы использования озона для малых объектов культурно-бытового назначения, в том числе частных. В связи с этим, востребованной задачей сегодняшнего дня является разработка альтернативного хлорированию и озонированию метода обеззараживания воды культурно-бытового назначения, который обеспечивал бы эпидемическую безопасность в отношении грибковых, вирусных, бактериальных и паразитарных заболеваний, передаваемых через воду, и предупреждал возможность вредного влияния примесей воды на организм человека, в том числе раздражающего действия на слизистые и кожу, и интоксикации при поступлении вредных веществ при дыхании через поврежденную кожу и при заглатывании воды.

Ретроспективный анализ трудов показал, что таким эффективным способом дезинфекции может стать ультразвуковая обработка воды [8-10]. Ранее проведённые экспериментальные исследования по ультразвуковому обеззараживанию воды подтвердили возможность и перспективность использования ультразвука для достижения её санитарно-гигиенической надёжности относительно кишечной палочки, учитывая, что содержание колиформных бактерий — один из основных показателей качества воды [11,12]. Выбор метода обусловлен рядом его технологических преимуществ по сравнению с другими физическими методами. В частности, в отличие от ионизирующих излучений при использовании ультразвука не требуется биологическая защита. Процессы с применением ультразвука можно осуществлять в аппаратах без перемешивающих устройств, выполненных из любых материалов, независимо от режима их проведения. Однако на сегодняшний день практически отсутствуют данные по вторичному загрязнению воды при воздействии низкочастотного ультразвука. Цель работы: исследование влияния низкочастотного ультразвука на качество воды культурно-бытового назначения, оценка возможного вторичного загрязнения воды культурно-бытовых объектов после ультразвуковой обработки. Не вызывает сомнения, что основная роль во вторичном загрязнении воды принадлежит активным формам кислорода, образующимся при протекании кавитационных процессов в водной среде при ультразвуковом воздействии [13-15]. Поэтому следует ожидать образование токсичных оксисоединений и, в первую очередь, высокотоксичного формальдегида, проявляющего мутагенное, аллергенное и местное раздражающее действие [16,17]. Механизм образования кислородосодержащих экотоксикантов связан с развитием свободно-радикальных процессов в водной среде с участием радикалов $\text{OH}\cdot$, $\text{H}\cdot$ и $\text{HO}_2\cdot$ [18,19]. Данное предположение получило экспериментальное подтверждение (табл.). Определение формальдегида в работе осуществляли фотометрическим методом на фотоэлектроколориметре (КФК-2-УХЛ 4.2, Загорский оптико-механический завод (ЗОМЗ), Россия). Данный метод основан на образовании окрашенного в желто-лимонный цвет соединения формальдегида с ацетилацетоном в среде уксуснокислого аммония с последующим измерением оптической плотности раствора при длине волны 414 нм [20,21]. Величина Δ характеризует относительный рост (%) ключевого экотоксиканта при различных режимах озвучивания воды, моделирующей воду бассейна. Обработка воды низкочастотным ультразвуком приводит к значительному росту содержания формальдегида в воде после обеззараживания (488 - 1150 %). Экстремальный характер влияния интенсивности ультразвукового воздействия при постоянной продолжительности озвучивания связан с ростом степени деструкции формальдегида при различных режимах ультразвуковой обработки (рис.1). Повышение интенсивности ультразвукового воздействия (10 Вт/см^2) при условии постоянства времени экспозиции, как и

следовало ожидать, приводит к увеличению концентрации формальдегида за счёт более развитых кавитационных процессов, обеспечивающих рост активных форм кислорода в водной среде. Ужесточение режима озвучивания ($J=10\text{Вт/см}^2$) снижает концентрацию токсиканта, что обусловлено с большой долей вероятности действием двух взаимоисключающих эффектов: образованием формальдегида и его деструкцией, с превалированием последнего. Увеличение продолжительности ультразвуковой обработки независимо от интенсивности воздействия обеспечивает гораздо меньшее повышение концентрации формальдегида в воде, что, по-видимому, связано с деструкцией последнего при увеличении времени обработки, что свидетельствует о более значительном влиянии продолжительности озвучивания на деструкцию формальдегида. Согласно полученным данным оптимальный режим озвучивания: интенсивность 6 Вт/см^2 , время озвучивания 7 минут, обеспечивающий санитарно-гигиеническую надёжность и минимально возможное содержание формальдегида в обеззараженной воде. Таким образом высокая концентрация формальдегида, значительно превышающая его ПДК для вод культурно-бытового назначения ($0,05\text{ мг/дм}^3$ [22]), свидетельствует о возможном вторичном загрязнении вод бассейнов при использовании низкочастотного ультразвука для её обеззараживания. Это требует чёткой организации контроля за химической безопасностью воды, используемой в бассейнах, и разработки комплекса мероприятий по её обеспечению.

Отстоянная вода

Режим	УЗО	6 Вт/см ²	8 Вт/см ²	10 Вт/см ²	5 мин	7 мин	5 мин	7 мин	3 мин	5 мин	не обнаружено
Сф, мг/дм ³	Δ, %	Сф, мг/дм ³	Δ, %	Сф, мг/дм ³	Δ, %	Сф, мг/дм ³	Δ, %	Сф, мг/дм ³	Δ, %	Сф, мг/дм ³	Δ, %
0,04± 0,006	0,38± 0,057	950± 143	0,13± 0,019	325± 48,8	0,46± 0,069	1150± 173	0,29± 0,043	775± 116	0,55± 0,082	1375± 206	0,22± 0,033
550± 82,5	0,043± 0,006	0,36± 0,054	837± 126	0,13± 0,019	302± 45,3	0,43± 0,064	1000± 150	0,26± 0,039	604± 90,6	0,55± 0,082	
1279± 192	0,21± 0,031	488± 73,2	0,027± 0,004	0,26± 0,039	963± 144	0,1± 0,015	370± 55,5	0,27± 0,040	1000± 150	0,18± 0,027	
666± 99,9	0,31± 0,046	1148± 172	0,14± 0,021	518± 77,7							

Таблица 1 – Влияние ультразвуковой обработки на образование формальдегида

Рис. 1 – Изменение относительного содержания формальдегида под влиянием интенсивности ультразвуковой обработки