

## **Гигиеническое заключение**

**по применению УФ излучения для подготовки питьевой воды из подземных водоисточников**

**Обеззараживание – важнейший этап подготовки питьевой воды, целью которого является создание барьера при поступлении патогенных микроорганизмов к человеку.**

**Обеззараживание включает две важнейшие стадии, соответствующие двум разным функциям обеззараживающего реагента: общее бактерицидное, вирулицидное и биоцидное действие, определяемое его способностью разрушать на первой стадии обработки нежелательные микроорганизмы, и так называемое «последствие», определяемое наличием в воде остаточной концентрации дезинфектанта, гарантирующего сохранение микробиологического качества распределяемой воды и защиту водопроводной сети.**

**При этом применяемые технологии и средства обеззараживания не должны приводить к образованию вредных побочных продуктов в концентрациях выше ПДК.**

**Реальными практическими методами, обладающими необходимым потенциалом обеззараживания воды и прошедшими проверку на действующих сооружениях водоподготовки, являются хлорирование, озонирование и ультрафиолетовое (УФ) излучение.**

**История дезинфекции питьевой воды хлором насчитывает уже почти столетие. Однако в 70-е годы прошлого века сформировалась проблема неблагоприятных последствий воздействия на население побочных продуктов хлорирования – галогенсодержащих соединений (ГСС).**

**Среди общей массы ГСС выделено 10 высокоприоритетных с гигиенической точки зрения продуктов хлорирования, потенциально опасных для здоровья населения. Это тригалометаны, хлорфенолы, соединения из группы галоуксусных кислот, галоацетонитрилов, галогенированных альдегидов, кетонов и фуранонов.**

**ГСС проявляют высокую биологическую активность, обладают полиморфизмом токсического действия, выраженными кумулятивными свойствами. Ряд ГСС обладают способностью вызывать наиболее неблагоприятный из всех отдалённых эффектов – развитие злокачественных опухолей. Вероятными**

канцерогенами для человека являются хлороформ, четырёххлористый углерод, 2,4,6-трихлорфенол, бромдихлорметан. Эти соединения отнесены к группе 2Б по классификации МАИР.

Основной путь поступления ГСС в организм человека с хлорированной питьевой водой через желудочно-кишечный тракт. Однако, некоторые ГСС легко переходят из воды в воздух, т.к. являются летучими и имеют низкую температуру кипения. Например, у хлороформа температура кипения 61-62<sup>0</sup>С, четырёххлористого углерода – 75-76<sup>0</sup>С, бромдихлорметана – 90<sup>0</sup>С. Поэтому ГСС дополнительно поступают в организм человека с вдыхаемым воздухом при купании в ванне, приёме душа, приготовлении пищи, при стирке белья.

До последнего времени не принимался во внимание и перкутанный (через кожу) путь поступления ГСС в организм. Вместе с тем, хлороформ и четырёххлористый углерод легко проникают из воды через неповреждённую кожу, что особенно опасно для новорождённых и детей первых лет жизни, кожа которых имеет большую проницаемость, чем у взрослых людей.

Таким образом, широкая распространённость (питьевая вода, воздух), множественность путей комплексного поступления в организм (через желудочно-кишечный тракт, вдыхаемый воздух, неповреждённую кожу), высокая токсичность, кумулятивность, канцерогенное действие обуславливают значимость ГСС как фактора, представляющего чрезвычайную опасность для всех контингентов населения.

Процесс образования ГСС под действием хлора зависит от многих факторов и прежде всего качества исходной воды. Установлено, что чем выше значение ХПК и величина цветности исходной воды, обусловленная присутствием гумусовых веществ, тем выше концентрация хлороформа в хлорированной воде. На ход реакции образования ГСС значительное влияние оказывают неорганические примеси воды, особенно бромиды и соединения йода, наличие которых характерно для подземных вод. Процесс образования ГСС зависит от дозы хлора и времени его контакта с водой.

Избежать образования ГСС при хлорировании невозможно. Поэтому на этапе совершенствования стратегии выбора оптимальных методов обеззараживания, необходимо реализовать все доступные приёмы защиты населения от воздействия ГСС питьевой воды. Однако эти попытки не должны снижать собственно эффекта обеззараживания питьевой воды.

Действующие нормативные документы ограничивают содержание галогенсодержащих соединений и ужесточают требования к микробиологическим показателям в питьевой воде.

Параметром эффективного обеззараживания питьевой воды реагентными методами является фактор «СТ». Этот фактор описывает достижимую степень обеззараживания в зависимости от произведения концентрации  $C$  (мг/л) дезинфектанта на время  $T$  (мин.) его контакта с водой. При воздействии хлора на различные микроорганизмы необходимо обеспечить различные значения СТ. Для обеззараживания наиболее оптимально, когда разница в чувствительности различных микроорганизмов к дезинфектанту является минимальной. Однако по отношению к хлору устойчивость вирусов и простейших в десятки раз превышает чувствительность бактерий.

Относительно второй функции обеззараживающего реагента, так называемого «последствия», то хлорирование в определённой степени даёт такую гарантию. Однако, следует отметить, что остаточный свободный хлор в концентрациях 0,3-0,5 мг/л не является барьером при вторичном загрязнении питьевой воды.

Ещё более актуальна эта проблема для озонирования. Озон обладает сильным дезинфицирующим действием в отношении бактерий и вирусов. Однако, озон в процессе воздействия на некоторые стойкие к биоокислению растворённые в воде органические вещества способен трансформировать их в биоокисляемые, что повышает возможность биологического обрастания трубопроводов и увеличивает опасность вторичного загрязнения воды микробиологическими компонентами.

Озонирование, как способ обеззараживания, так же приводит к образованию побочных продуктов, нормируемых по санитарно-токсикологическому признаку вредности. В основном это соединения из группы альдегидов и кетонов, в том числе формальдегид. Для бромата, являющегося продуктом озонолиза, характерно канцерогенное действие, его содержание в питьевой воде ограничено Директивой 98/83/ЕС Европейского Союза на уровне 10мкг/л, во Франции – 3мкг/л.

Целесообразность применения озона в каждом конкретном случае должна решаться с учётом вышеизложенных фактов, в том числе и с позиции экономической целесообразности.

Необходимо учитывать такие негативные факторы применения технологии хлорирования и озонирования, как токсичность жидкого газообразного хлора и

озона, взрывоопасность, высокая коррозионная активность водных растворов, эксплуатация высоковольтного электрооборудования (при озонировании).

В последние годы всё более широкое применение находит метод обеззараживания воды с использованием УФ излучения. В определённой мере это обусловлено новыми научными проработками проблемы, отсутствием побочных эффектов УФ облучения при обеспечении заданной эффективности обеззараживания воды, наличием надёжных методов контроля за процессом обеззараживания.

Основные санитарные требования к организации обеззараживания питьевой воды методом УФ – излучения отражены в Методических указаниях «Санитарный надзор за применением ультрафиолетового излучения в технологии подготовки питьевой воды» (МУ 2.1.4.719-98).

УФ – метод позволяет обеспечить глубокое обеззараживание в широком диапазоне физико-химических показателей качества воды. При этом в отличие от окислительных технологий, ультрафиолетовое облучение не меняет химического состава воды.

Важнейшим является факт, что дозы ультрафиолета, необходимые для инактивации бактерий и вирусов, отличаются незначительно. Так, дозы УФ облучения для обеззараживания на 1 порядок имеют в среднем следующие значения: бактерии – от 1.5 мДж/см<sup>2</sup> для некоторых штаммов *Shigella dysenteria* до 10 мДж/см<sup>2</sup> для энтерококков и фекальных стрептококков; энтеровирусы – от 4.5 мДж/см<sup>2</sup> для полиовирусов (Mahoney) до 11 мДж/см<sup>2</sup> для ротавирусов. До последнего времени считалось, что для удаления криптоспоридий необходимы дозы более 200-300 мДж/см<sup>2</sup>. Исследования последних лет свидетельствуют, что доза 16 мДж/см<sup>2</sup> обеспечивает полное губительное действие в отношении ооцист криптоспоридий и цист лямблий при концентрации вышеуказанных патогенов до 100/мл. В естественных условиях содержание ооцист криптоспоридий и цист лямблий в воде водоисточников достигает не более десятков экземпляров.

Доза облучения 16 мДж/см<sup>2</sup> утверждена в качестве минимальной дозы при обеззараживании питьевой воды методом УФ облучения (МУ 2.1.4.719-98 п. 4.3.2.)

В отличие от химических реагентов, при применении УФ обеззараживания отсутствует ограничение верхнего предела дозы облучения, т.к. повышение дозы не приводит к гигиенически значимым неблагоприятным изменениям свойств воды и образованию побочных продуктов. Поэтому допускается при необходимости

увеличение дозы УФ облучения до значений, которые обеспечивают эпидемическую безопасность воды в отношении бактерий и вирусов.

В настоящее время можно констатировать наличие отечественных бактерицидных УФ систем, в полной мере соответствующих уровню и требованиям международных стандартов к УФ обеззараживанию.

Оперативный технологический контроль за эффективностью работы УФ установок осуществляется по дозе облучения путём учета интенсивности бактерицидного излучения в камере обеззараживания и времени пребывания воды в ней.

При недостаточной дозе облучения, когда обработанная вода длительное время находится под воздействием солнечного света, возможен повторный рост микроорганизмов после процесса обеззараживания (эффект фотореактивации). Если технологическая доза облучения выбрана правильно, фотореактивация не наблюдается, что позволяет применять УФ обеззараживание без последующего ввода консервирующих доз хлора.

В соответствии со СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» УФ облучение наиболее целесообразно для обеззараживания подземных вод. При этом надёжным гарантом предупреждения вторичного загрязнения и бактериального заражения питьевой воды может служить надлежащее санитарно-техническое состояние водопроводной сети и связанного с ним оборудования, а так же готовность соответствующих служб к проведению необходимых организационно-технических мероприятий по оперативному предотвращению повторного загрязнения.

Все вышеизложенные положения подтверждаются отечественным и зарубежным опытом, как в области очистки воды, так и в области эксплуатации сетей. Так, в России УФ станция обеззараживания воды подземных водоисточников работает в г. Димитровграде с 1999 г. Опыт эксплуатации свидетельствует о эффективности и надёжности её работы. Качество воды по микробиологическим показателям на выходе с водопроводных очистных сооружений соответствует гигиеническим требованиям. Нормативные требования качества воды в точках разводящей сети обеспечиваются проведением регламентных работ по промывке и дезинфекции водопроводных сетей.

Таким образом, практическая эффективность обеззараживания воды ультрафиолетом, отсутствие отрицательных побочных эффектов УФ излучения,

**наличие нормативных документов по санитарному надзору за применением УФ излучения, определяющих гигиенические требования к величине дозы облучения, УФ оборудованию и средствам контроля при его эксплуатации, практический опыт эксплуатации УФ установок обеззараживания воды, серийный выпуск установок, соответствующих международным стандартам, позволяют считать, что метод УФ обеззараживания гарантированно обеспечивает соответствие качества питьевой воды современным гигиеническим требованиям по микробиологическим и санитарно-химическим показателям, повышает санитарную надёжность питьевого водопользования.**

Практика эксплуатации систем коммунального водоснабжения, базирующихся как на поверхностных, так и подземных водоисточниках, свидетельствует об определённом снижении качества питьевой воды при транспортировке за счет интенсивно протекающих биологических процессов. Наиболее интенсивно эти негативные биологические процессы протекают в резервуарах чистой воды.

Существующие методы обработки воды не всегда предотвращают проникновение микроорганизмов в распределительную систему. В ряде случаев покоящиеся стадии гидробионтов, более резистентные к воздействию неблагоприятных факторов, выдерживают двухступенчатую очистку, значительные дозы хлора, озона и, попадая в сеть и резервуары, отрицательно влияют на качество питьевой воды.

В результате очистки и обеззараживания на водоочистных сооружениях питьевая вода не становится стерильной. Водно-санитарным Законодательством допускается присутствие в питьевой воде до 50 сапрофитных бактерий в 1 миллилитре (СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества).

Кроме того, микроорганизмы могут попадать в резервуар и воздушным путём при неполной герметичности резервуаров.

Таким образом, после водоочистных сооружений в сеть и резервуары может попадать самая разнообразная микрофлора (слизеподобные псевдоманады, актиномицеты, дрожжеподобные и плесневые грибы, и др.), а так же бактерии, аккумулирующие соединения железа, серы, марганца, нитрификаторы и денитрификаторы, которые не лимитируются Санитарными правилами, но оказывают существенное воздействие на санитарное состояние систем водоснабжения, в том числе и резервуаров чистой воды.

Замедленное движение воды в резервуарах и наличие в них застойных зон способствует седиментации микрофлоры и гидробионтов на внутренних поверхностях конструкций. На уровень накопления микроорганизмов оказывает

влияние и шероховатая поверхность стен. За счёт оседания присутствующих в воде взвешенных веществ, происходит накопление и органических веществ, являющихся необходимым субстратом для развития микроорганизмов.

С другой стороны, накопление органического субстрата происходит за счет жизнедеятельности, отмирания и разложения организмов, уже прикрепившихся и развивающихся в обрастаниях поверхностей и осадке на дне резервуаров.

Установлено, что за один год эксплуатации резервуаров с чистой водой на водопроводах с поверхностными водосточниками количество органических веществ (по сухому остатку) на внутренних поверхностях стен может достигать нескольких десятков граммов на  $1\text{ м}^2$  поверхности, в резервуарах с подземной водой – на порядок ниже.

В обрастаниях резервуаров обнаруживаются жизнеспособные представители зоо- и фитопланктона, черви, железо- и серобактерии, большое количество сапрофитной микрофлоры. Сапрофитная микрофлора в биоценозах обрастаний представлена значительным количеством спорообразующих бактерий и группой грамотрицательных оксидазо-положительных палочек.

Вышеизложенное указывает на необходимость повышения барьерной роли водоочистных сооружений в отношении микроорганизмов, гидробионтов, органических веществ и биогенных элементов. Большое значение для борьбы с обрастаниями в резервуарах имеют профилактические мероприятия и, прежде всего, своевременные тщательные промывки и дезинфекция резервуаров.

В то же время следует учитывать тот факт, что микроорганизмы, поселившиеся в уклублениях, порах, на неровностях стен, сохраняют жизнеспособность и, получая доступ к органическим веществам, которые под воздействием хлора переводятся в легкоусвояемую форму, могут интенсивно развиваться.

Результаты обследований действующих резервуаров свидетельствуют, что развитие микрофлоры сопровождается увеличением численности в воде и на поверхности резервуаров группы микроорганизмов, относящихся к роду *Pseudomonas*.

С учётом вышеизложенного, для систем водоснабжения, в состав которых входят напорно-регулирующие ёмкости (резервуары), на выходе с последних, в целях повышения санитарной надёжности водопользования, целесообразно проводить дополнительное обеззараживание воды.

Стратегия выбора оптимальных методов обеззараживания должна основываться на принципе уменьшения использования хлора для обеззараживания питьевой воды, с тем, чтобы предупредить неблагоприятное влияние побочных продуктов хлорирования (галогенсодержащих соединений) на здоровье населения.

Галогенсодержащие соединения (ГСС) перманентно образуются под действием хлора из предшественников, которыми являются многие вещества природного и антропогенного происхождения всегда присутствующие в воде. Образование ГСС из предшественников продолжается во времени и после поступления хлорированной воды в водопроводную сеть, из-за чего концентрации этих веществ возрастают по мере продвижения питьевой воды к потребителю.

В течение суток содержание ГСС в воде увеличивается на 13-15%, а в последующем может превысить исходное почти в 1,5 раза. Особое значение это приобретает для ёмкостей хранения воды.

ГСС опасны тем, что проявляют высокую биологическую активность с выраженным неблагоприятным влиянием на здоровье человека. Многие из них обладают полиморфизмом токсического действия, оказывают гепато-рено-и нейротоксические эффекты, нарушают функции сердечно-сосудистой и репродуктивной систем.

Опасность ряда ГСС (четырёххлористый углерод, бромдихлорметан, дибромхлорметан и др.) связана с их выраженными кумулятивными свойствами. Некоторые ГСС обладают потенциальным канцерогенным риском.

В последние несколько лет на международном уровне произошло переосмысление степени опасности ГСС для здоровья населения, что привело к ужесточению нормативов ГСС в питьевой воде в развитых странах мира.

Следует отметить, что хлорирование не всегда достаточно эффективно в отношении удаления вирусов и простейших.

Озонирование, как способ обеззараживания, так же приводит к образованию побочных продуктов в воде, хотя их значительно меньше и они менее токсичны, чем продукты хлорирования. В основном это соединения из группы альдегидов и кетонов, в том числе формальдегид. Лишь для одного из продуктов озонолиза – бромата характерно канцерогенное действие.

Озон в дозах, обычно применяемых на водопроводных станциях, малоэффективен в отношении гидробионтов, что указывает на неэффективность озонирования в борьбе с биообрастанием.

При организации озонирования необходимо иметь в виду, что частичная деструкция под действием озона, как органических загрязнений, так и природных гуминовых соединений, приводит к их трансформации из биорезистентной формы в более биоразлагаемую. Это может привести к «повторному» росту микроорганизмов в сети.

Лучшим в арсенале обеззараживающих средств является ультрафиолетовое излучение (УФИ).

УФИ – безреагентный, наиболее безопасный и технически простой способ обеззараживания питьевой воды в отличие от хлорирования, так как хранение запасов хлора сопряжено с риском возникновения аварийных ситуаций, опасных для населения.

УФ – метод позволяет обеспечить глубокое обеззараживание (в том числе в отношении устойчивых к хлору микроорганизмов) в широком диапазоне физико-химических показателей качества воды.

Анализ опубликованных работ по проблеме УФ излучения свидетельствует, что сопротивляемость различных типов микроорганизмов к УФ излучению значительно меняется: от малых доз для бактерий (4-12 мДж/см<sup>2</sup>) до очень больших доз для спор и простейших.

В то же время доза 16 мДж/см<sup>2</sup> обеспечивает полное губительное действие в отношении ооцист криптоспоридий и цист лямблий при концентрации вышеуказанных патогенов до 100/мл. В естественных условиях содержание ооцист криптоспоридий и цист лямблий в воде водоемчиков достигает не более десятков экземпляров.

УФ излучение действует намного эффективнее, чем хлор, на вирусы. Применение УФ обеззараживания при подготовке питьевой воды позволяет, в частности, во многом решить проблему удаления вирусов гепатита А.

УФИ препятствует образованию биоплёнок в новых и чистых распределительных системах водоснабжения, однако ингибирующий эффект УФИ ограничен в системах с уже имеющимся обрастанием.

Имеются доказательства эффективности использования УФИ для удаления микроорганизмов вида *Legionella* (возбудитель «болезни легионеров»).

Ультрафиолетовое облучение, в отличие от окислительных технологий, не меняет химический состав воды.

Исследованиями показано отсутствие вредных эффектов после облучения воды даже при дозах, намного превышающих практически необходимые.

Таким образом, применение метода УФ обеззараживания может рассматриваться как надёжный элемент решения задачи обеспечения населения доброкачественной питьевой водой в условиях эксплуатации систем водоснабжения, включающих блок (звено) «регулирующие и запасные ёмкости».

Зам. директора ФНЦГ им.  
Ф.Ф.Эрисмана по научной  
работе, д.м.н., профессор

Руководитель отдела гигиены питьевого  
водоснабжения и охраны водных  
объектов, член-корр. РАМН, засл.  
деятель науки РФ, профессор

  
А.В. Тулакин  
Ю.В. Новиков