



Москва

Тел./Факс: **8 (800) 100-123-7** (Звонки по России бесплатно);

+7 (495) 617-19 -45, -46, -47, -48; +7(499) 795-77-86

E-mail: svarog@svarog-uv.ru

Дезинфекционные барьеры в рамках обеспечения населения питьевой водой.

Более столетия в Соединенных Штатах Америки для защиты здоровья населения от болезней, источником которых является вода, применялись несколько (четыре) видов барьеров. Первый из них включает защиту зон водоразделов и / или водозаборов. Однако в последние три десятилетия из - за растущей плотности населения и благодаря тому, что люди стремятся приобрести недвижимость вблизи воды, увеличивается степень использования водоемов с питьевой водой, защита зон водоразделов и водозаборов все более ослабляется. Высокая стоимость недвижимости, стоящей вблизи водной поверхности, приводит к тому, что многие общественные и частные службы снабжения питьевой водой продают большие участки своих водозащитных зон для строительства домов. Одновременно во многих регионах США были ослаблены законодательные ограничения на минимальное расстояние определенных видов строительства от водоохраных зон.

Вторым барьером всегда была водообработка соответствующими средствами для удаления неприятного вкуса, запаха или цвета воды, а также для удаления веществ, которые могли вступать во взаимодействие с дезинфекционными материалами, например, частиц или веществ, поглощающих хлор. Такие технологии обработки интенсивно развивались в последние тридцать лет, но многие предприятия водообработки все еще сталкиваются с трудностями, связанными с быстрым ухудшением качества сырой воды и с урезанием бюджетных средств на ремонт и обновление оборудования.

В качестве третьего барьера в течение долгого периода в основном была дезинфекция воды хлором. Однако, начиная с 1972 г., возникла озабоченность в связи с тем, что при дезинфекции воды хлором возникают побочные продукты (DBF). Эти побочные продукты, такие как трехгалогенный метан, галогеноуксусная кислота и многие другие, вызывали опасения в связи с их потенциальной канцерогенностью. Совсем недавно озабоченность ролью DBF, в особенности бромодихлорметана, в отрицательном воздействии на репродуктивные функции человека, в том числе на увеличении количества выкидышей, вызвала бурную реакцию общественности и целый ряд судебных разбирательств. Наряду с этим, появление патогенных цист *Giardia lamblia*, вызывающих болезни, связанные с употреблением загрязненной воды, вызвало необходимость увеличения доз хлора для обеспечения эффективной дезинфекции воды, что в свою очередь, увеличило потенциал для роста числа DBF. Далее, с 1993 г. внезапно появившиеся в Милуоки ооцисты *Cryptosporidium parvum* стали восприниматься в США в качестве самых серьезных патогенных микроорганизмов, присутствующих в питьевой воде, в связи с тем, что хлор неэффективен для дезинфекции ооцист. В ответ на эту опасность многие службы водообработки в качестве своего основного дезинфицирующего агента стали применять озон. Озон доказал свою эффективность во многих системах обработки воды, кроме того, он имеет и другие преимущества, связанные с его способностью устранять неприятный вкус и запах воды, улучшать удаление посторонних частиц при фильтрации. Однако озон, также как и другие дезинфицирующие вещества, имеет негативные аспекты применения, в т. ч. из - за образования DBF в форме бромата,

который может существенным образом влиять на здоровье. Кроме того, основанные на озоне системы дезинфекции воды дороже и сложнее систем с хлором. Недавно было показано, что для инактивации ооцистов *Cryptosporidium* в холодной воде (например, имеющей температуру около 1⁰C) требуются более значительные, может быть, в два раза большие дозы озона, чем предполагалось вначале. Если такой температурный эффект является результатом переноса вещества, подобные результаты могут быть получены и для других химических средств дезинфекции воды или для определения требований дезинфекции цист *Giardia*.

Опасения по поводу применения хлора и озона и появление в 1998 г. методов дезинфекции питьевой воды ультрафиолетовым излучением привели к тому, что многие коммунальные службы стали рассматривать ультрафиолет в качестве основного агента дезинфекции. Ультрафиолет имеет перед озоном множество преимуществ, включая меньшую стоимость и сложность применения. Ультрафиолетовое излучение очень эффективно для инактивации микроорганизмов *Giardia* и *Cryptosporidium*, кроме этого, применение типичных для дезинфекции доз ультрафиолетового света (от 40 до 70 мДж/см²) не ведет к образованию опасной концентрации побочных продуктов. Однако дезинфекция воды при помощи ультрафиолета также не является панацеей, т. к. некоторые имеющиеся в воде болезнетворные микроорганизмы, например аденовирусы, довольно устойчивы к воздействию ультрафиолетового излучения. Кроме этого, широкомасштабное применение при дезинфекции воды ультрафиолетового излучения является для США сравнительно новым опытом. Поэтому еще предстоит выявить наиболее эффективные подходы для выбора, конструирования, эксплуатации и технического обслуживания новых систем ультрафиолетовой дезинфекции воды.

Четвертым барьером всегда было поддержание в системе водоснабжения остаточного содержания вторичного средства дезинфекции воды, обычно хлора. Однако многие системы были перенастроены со свободного остаточного хлора на связанный остаточный хлор или монохлорамин, т. к. он облегчает контроль образования DBF и дольше сохраняется в системе водоснабжения. Использование хлора для вторичной дезинфекции воды хорошо зарекомендовало себя, но оно требует более тщательного контроля, а в некоторых системах должны предприниматься определенные меры для предотвращения нитрификации. В США, наряду с изменением отношения к защите здоровья населения, изменяются также законодательные предписания, касающиеся питьевой воды и направленные на решение этих вопросов.

Агентство по защите окружающей среды США (USEPA) в настоящее время ведет разработку второй редакции долговременных правил усовершенствованной обработки поверхностных вод (LT 2 ESWTR) и второй ступени правил применения средств дезинфекции воды и контроля побочных продуктов дезинфекции (DBPR).

Эти правила, на разработку которых в 2004 г. выделяются соответствующие финансовые средства, и реализация которых предусматривается в течение следующих пяти лет, будут способствовать тому, что коммунальные службы снабжения питьевой воды будут искать баланс между риском присутствия в воде патогенных микроорганизмов и формированием в воде побочных продуктов процесса дезинфекции воды. Правила LT 2 ESWTR детализируют предписания для общественных систем снабжения питьевой водой, использующих поверхностные или грунтовые воды. Эти правила предназначены для обеспечения надлежащей защиты населения от микробиологических патогенных образований. В этих правилах внимание концентрируется на имеющихся в воде

патогенных микроорганизмах, таких как *Giardia*, *Cryptosporidium*, и кишечных вирусах, вызывающих заболевания людей. Правила DBPR предназначены для снижения содержания побочных продуктов, образующихся во время химической дезинфекции воды при помощи хлора. Кроме этого, в этих правилах вводятся ограничения на допустимые уровни тригалогенного метана (ТГМ) и галогеноуксусных кислот (НАА) до значений 80 мг/л и 60 мг/л, соответственно. В них содержатся требования мониторинга содержания DBF в системе водоснабжения на основании усредненных за год значений в местных системах (LRAA). Такой мониторинг будет способствовать более равномерному снижению DBF в коммунальной системе водоснабжения (см. данные за 2003 г. на странице Интернета www.epa.gov).

При наличии стольких новых подходов к установлению барьеров для обработки питьевой воды и при понимании того, что должен быть баланс между угрожающим здоровью микробиологическим загрязнением и загрязнением продуктами DBF, становится ясно, что ни одно из дезинфицирующих средств не может само по себе удовлетворить все потребности системы снабжения питьевой водой.

Поэтому можно утверждать, что пришло время новой парадигмы защиты здоровья населения от болезней, связанных с употреблением загрязненной воды. Эту парадигму можно коротко выразить как использование нескольких барьеров дезинфекции воды в рамках исторического подхода использования множества барьеров защиты качества воды.

В этой статье рассматривается применение нескольких средств дезинфекции воды в нескольких используемых в США системах, а также влияние такого подхода на здоровье населения и на экономику.

Пример А - обычная обработка озоном, дезинфекция ультрафиолетовым излучением и остаточным хлором.

В случае А применяется оборудование с 15 установками MGD (производительностью 2366 м³/ч) для обычной обработки хлором, обеспечивающей инактивацию, эквивалентную значению $1\text{-log } C * T$ для микроорганизмов *Giardia*; $4\text{-log } C * T$ - для вирусов. В системе поддерживается концентрация остаточных дезинфицирующих веществ на уровне 0,2 мг/л на самом дальнем отводе к потребителю. Оборудование модернизируется таким образом, что за обычной промежуточной обработкой озоном следует биологическая фильтрация, дезинфекция воды ультрафиолетовым излучением и вторичная дезинфекция воды хлорамином. Как показано в таблице. 1, такая модернизация добавляет дезинфекционный барьер для микроорганизмов *Cryptosporidium* и значительно снижает содержание DBF. Значения DBF после произведенных в системе изменений основаны на взвешенных данных, полученных по результатам экспериментов по моделированию распределения образования DBF. Предполагается, что модернизация позволит уменьшить количество жалоб потребителей на сезонные изменения вкуса и запаха воды, возникавшие из-за образования в системе водорослей.

Параметр	Перед модернизацией *	После модернизации *
Показатель С * Т для микроорганизмов Giardia	3(3)	3(5)
Показатель С * Т для микроорганизмов Cryptosporidium	0(2)	3(5)
Показатель С * Т для вирусов	4(4)	4(5)
Среднее за год значение ТТНМ (мг/л)	96,7	59,5
Среднее за год значение НАА 5 (мг/л)	78,8	35,6

Таблица 1. Случай А - улучшение защиты здоровья благодаря подходу с применением нескольких дезинфекционных барьеров.

* Цифры в скобках обозначают эквивалентное значение С * Т, вычисленное суммированием результатов отдельных процессов.

Пример В - Обычная обработка с дезинфекцией воды ультрафиолетовым излучением и хлором, со вторичной дезинфекцией воды хлорамином.

Параметр	Перед модернизацией *	После модернизации *
Показатель С * Т для микроорганизмов Giardia	3(3)	3(5)
Показатель С * Т для микроорганизмов Cryptosporidium	0(2)	3(5)
Показатель С * Т для вирусов	4(4)	4(5)
Среднее за год значение ТТНМ (мг/л)	98,5	45,6
Среднее за год значение НАА 5 (мг/л)	85,6	38,5

Таблица 2. Случай В - улучшение защиты здоровья благодаря подходу с применением нескольких дезинфекционных барьеров.

* Цифры в скобках обозначают эквивалентное значение С * Т, вычисленное суммированием результатов отдельных процессов.

Сценарий дезинфекции *	Необходимое значение С * Т для Giardia	Необходимое значение С * Т для Crypto	Необходимое значение С * Т для вирусов	Капитальные затраты (106 долларов США)	Затраты на (О & М) (тыс. долларов США в год)
1. Только озон	2	2	4	78,9	800
2. Только озон	3	3	4	118,4	1200
3. Озон	2	1	4	31,5	400
Ультрафиолет	1	2	0	6,0	250
4. Озон	2	1	4	31,5	400
Ультрафиолет	1	2	0	6,0	250
5. Ультрафиолет	3	3	0	6,0	250
Хлор	0	0	4	(существует)	250
6. Ультрафиолет	3	3	0	6,0	250
Хлор	0	0	4	(существует)	125
Хлорамин	0	0	0	1,8	250

Таблица 3. Сравнение стоимости альтернативных вариантов дезинфекции в примере В.

* Приведенные данные справедливы при условии использования остаточного хлора и при соблюдении показателей для С * Т и температуры воды 1⁰С при дезинфекции воды озонем микроорганизмов Cryptosporidium.

В случае В применяется оборудование с 50-ю установками MGD (производительностью 7887 м³/ч) для обычной обработки хлором, обеспечивающей инактивацию, эквивалентную значению 2-log С * Т для микроорганизмов Giardia, 4-log С * Т - для вирусов. В системе обеспечения поддерживается концентрация остаточных дезинфицирующих веществ на уровне 0,2 мг/л на самом дальнем отводе к потребителю. Оборудование модернизируется для ведения обычной обработки с последующей ультрафиолетовой дезинфекцией воды для инактивации, эквивалентной 3 - log для Giardia и Cryptosporidium, с вторичной дезинфекцией воды хлором для обеспечения необходимой инактивации вирусов, и с преобразованием хлора в хлорамин для защиты системы водоснабжения. Такая модернизация добавляет дезинфекционный барьер для микроорганизмов Cryptosporidium и значительно снижает содержание DBF. Значения DBF после произведенных в системе изменений основаны на взвешенных данных, полученных по результатам экспериментов по моделированию распределения образования DBF.

Оценки стоимости модернизации, вычислены для нескольких рассмотренных сценариев дезинфекции воды (распределение нагрузки между озоном и ультрафиолетом). Очень желательно преобразование хлора в хлорамин для снижения содержания DBF. Оценка общих капитальных затрат для модернизации системы, необходимой для обеспечения нескольких дезинфекционных барьеров, выражается величиной 7,8 млн. долларов, размер ежегодных операционных затрат и затрат на техническое обслуживание (О & М) составляет 625 тыс. долларов. Ясно, что преимущества, получаемые в результате реализации этого проекта, намного превышают стоимость модернизации этого оборудования, состоящего из 50-ти установок MGD, производительностью 7887 м³/ч.

Выводы и рекомендации.

В этой статье представлены изменяющиеся политические, экономические и технические факторы, влияющие на подход с использованием нескольких барьеров, применяемых в США в течение последнего столетия и предназначенных для защиты от болезней,

вызываемых употреблением загрязненной воды. Рассмотрены конкретные случаи, демонстрирующие новую парадигму, предусматривающую применение нескольких дезинфекционных барьеров в рамках традиционного подхода с несколькими барьерами. На основании анализа этих примеров в статье показаны преимущества перехода к подходу с несколькими дезинфекционными барьерами, даны оценки и проведено сравнение факторов стоимости. Представлены преимущества совместного использования озона и ультрафиолетовой дезинфекции воды, указано на зависимость степени эффективности такого решения от конкретных условий на месте эксплуатации данной системы. Ясно, что при проектировании системы снабжения питьевой водой должны быть оценены все факторы за и против решения об использовании имеющегося в настоящее время множества вариантов дезинфекционных барьеров. Окончательное решение должно определяться условиями на месте и должно рассматривать, как минимум, необходимую инактивацию патогенных микроорганизмов, образование DBF и контроль этих продуктов, размер капитальных и операционных затрат, стоимость технического обслуживания для каждого варианта.

Ген. директор ЗАО «Сварог» А.Н. Ульянов