

Борьба с микробами в водоподготовке и медицине: две стороны одной проблемы

В.М. Бахир, д.т.н., профессор

Недавно, в сентябре 2009 года, на конференции, посвященной 70 - летию института МосводоканалНИИпроект, главный инженер Санкт-Петербургского водоканала в своем докладе отметил, что в Санкт-Петербурге состоялась церемония вывоза последнего баллона с хлором с территории Северной водопроводной станции, расположенной в поселке Заневка и что теперь город стал **первым мегаполисом в мире**, полностью отказавшимся от использования ядовитого хлора в технологии обеззараживания воды. Суть дальнейшего выступления заключалась в том, что с вывозом последнего баллона с хлором поставлена окончательная точка в столетней истории применения вредного реагента. В городской системе очистки воды больше нет объектов повышенной опасности. Теперь вместо хлора на всех городских водопроводных станциях используется не менее эффективный, и в то же время нетоксичный гипохлорит натрия. Также он отметил, что мощность ультрафиолетового облучения воды в комплексном процессе ее обеззараживания так высока, что «эта колотушка бьет всех микробов!».

Попытаемся проанализировать, являются ли активно предлагаемые в настоящее время в России технологии действительно инновационными. Такой анализ представляется актуальным сейчас, поскольку, возможно, поможет в будущем предотвратить сожаления о новых неверных стратегических решениях.

Современные российские специальные журналы переполнены информацией о том, какие реагенты и технологии для обеззараживания воды - порознь или в комбинации - являются лучшими: хлор, гипохлорит натрия, диоксид хлора, озон, ультрафиолет, ультрафильтрация, обратный осмос и еще с десяток альтернативных технологий.

Забытыми оказываются опубликованные в период с 1960 по 1990 годы в различных странах мира, в т.ч. и в нашей стране, множество монографий, учебных пособий, научных статей, где показана роль каждого из перечисленных агентов – как в виде индивидуального средства, так и в комбинации.

Кратко достоинства и недостатки некоторых агентов, подробно изученных в 19-20 веках, показаны в таблице 1, составленной преимущественно по данным классических и фундаментальных источников информации [1-3].

Таблица 1.

Характеристики некоторых дезинфектантов воды

Наименование и характеристика дезинфектанта	Достоинства	Недостатки
Основные дезинфектанты		
Хлор Применяется в газообразном виде, требует соблюдения строжайших мер безопасности	<ul style="list-style-type: none">▪ эффективный окислитель и дезинфектант▪ эффективен для удаления неприятного вкуса и запахов▪ обладает последствием▪ предотвращает рост водорослей и биообрастаний▪ разрушает органические соединения (фенолы)▪ окисляет железо и марганец▪ разрушает сульфид водорода, цианиды, аммиак и другие соединения азота	<ul style="list-style-type: none">▪ повышенные требования к перевозке и хранению▪ потенциальный риск здоровью в случае утечки▪ образует побочные продукты дезинфекции - тригалометаны (ТГМ).▪ образует броматы и броморганические побочные продукты дезинфекции в присутствии бромидов
Гипохлорит натрия Применяется в жидком виде (товарная концентрация)	<ul style="list-style-type: none">▪ эффективен против большинства болезнетворных микроорганизмов▪ относительно безопасен при хранении и использовании▪ при получении на месте не требует транспортировки и хранения	<ul style="list-style-type: none">▪ неэффективен против цист (<i>Giardia</i>, <i>Cryptosporidium</i>)▪ теряет активность при длительном хранении▪ потенциальная опасность выделения газообразного хлора при хранении▪ образует побочные продукты дезинфекции,

Наименование и характеристика дезинфектанта	Достоинства	Недостатки
растворов - 10 - 12%), возможно получение на месте применения электрохимическим способом.	опасных химикатов.	включая тригалометаны, в том числе бромформ и броматы в присутствии бромидов <ul style="list-style-type: none"> при получении на месте требует либо немедленного использования, либо, для обеспечения возможности хранения, специальных мер по очистке исходной воды и соли от ионов тяжелых металлов; при хранении растворов NaClO с концентрацией активного хлора более 450 мг/л и pH более 9 происходит накопление хлоратов
Диоксид хлора Получают только на месте применения. В настоящее время считается самым эффективным дезинфектантом из хлорсодержащих реагентов для обработки воды при повышенных pH.	<ul style="list-style-type: none"> работает при пониженных дозах не образует хлораминов не способствует образованию тригалометанов разрушает фенолы - источник неприятного вкуса и запаха эффективный окислитель и дезинфектант для всех видов микроорганизмов, включая цисты (<i>Giardia</i>, <i>Cryptosporidium</i>) и вирусов не образует броматов и броморганических побочных продуктов дезинфекции в присутствии бромидов способствует удалению из воды железа и марганца путем их быстрого окисления и осаждения оксидов 	<ul style="list-style-type: none"> обязательно получение на месте применения требует перевозки и хранения легковоспламеняющихся исходных веществ образует хлораты и хлориты в сочетании с некоторыми материалами и веществами приводит к проявлению специфического запаха и вкуса
Хлорамин Образуется при взаимодействии аммиака с соединениями активного хлора, используется как дезинфектант пролонгированного действия	<ul style="list-style-type: none"> обладает устойчивым и долговременным последствием способствует удалению неприятного вкуса и запаха имеет пониженный уровень образования тригалометанов и других хлорорганических побочных продуктов дезинфекции 	<ul style="list-style-type: none"> слабый дезинфектант и окислитель по сравнению с хлором и гипохлоритом неэффективен против вирусов и цист (<i>Giardia</i>, <i>Cryptosporidium</i>) для дезинфекции требуются высокие дозировки и пролонгированное время контакта представляет опасность для больных, находящихся на диализе, т.к. способен проникать сквозь мембрану диализатора и поражать эритроциты образует азотсодержащие побочные продукты
Альтернативные дезинфектанты		
Озон Используется на протяжении нескольких десятков лет в некоторых европейских странах для дезинфекции, удаления цвета, улучшения вкуса и устранения запаха	<ul style="list-style-type: none"> сильный дезинфектант и окислитель очень эффективен против вирусов наиболее эффективен против <i>Giardia</i>, <i>Cryptosporidium</i>, а также любой другой патогенной микрофлоры способствует удалению мутности из воды удаляет посторонние привкусы и запахи не образует хлорсодержащих тригалометанов 	<ul style="list-style-type: none"> образует побочные продукты, включающие: альдегиды, кетоны, органические кислоты, броматы (в присутствии бромидов), пероксиды, бромуксусную кислоту требует использования биологически активных фильтров для удаления образующихся побочных продуктов не обеспечивает остаточного дезинфицирующего действия требует высоких начальных затрат на оборудование требует значительных затрат на обучение операторов и обслуживание установок реагирует со сложными органическими соединениями, расщепляет их на фрагменты, являющиеся питательной средой для микроорганизмов в системах распределения воды
Ультрафиолет Процесс заключается в облучении воды	<ul style="list-style-type: none"> не требует хранения и транспортировки химикатов не образует побочных продуктов эффективен против цист (<i>Giardia</i>, 	<ul style="list-style-type: none"> не обладает остаточным действием требует больших затрат на оборудование и техническое обслуживание требует высоких операционных (энергетических)

Наименование и характеристика дезинфектанта	Достоинства	Недостатки
ультрафиолетом, способным убивать различные типы микроорганизмов.	Cryptosporidium)	затрат <ul style="list-style-type: none"> ▪ дезинфицирующая активность зависит от мутности воды, ее жесткости (образования отложений на поверхности лампы), осаждения органических загрязнений на поверхности лампы, а также колебаний в электрической сети, влияющих на изменение длины волны. ▪ отсутствует возможность оперативного контроля эффективности обеззараживания воды

Анализ этих данных позволяет увидеть, что среди указанных дезинфектантов и технологий нет идеальных, точно так же, как не существует рецепта «идеальной» питьевой воды при всей важности влияния ее состава на здоровье человека. Очевидно, что состав и свойства питьевой воды определяются географическими, геологическими, климатическими, гидрологическими условиями и региональными различиями в степени и характере хозяйственного освоения территории. В связи с этим регламентация качества питьевой воды в развитых странах основана на достоверных, научно обоснованных нормативах ее микробиологического (приоритетный показатель) и химического состава с позиций безопасности и безвредности для человека и определяет порядок контроля качества подаваемой населению воды, наиболее полно учитывающий региональные условия формирования и состав воды источника, а также применяемые методы водоподготовки и доставки воды потребителям.

На страницах журнала «Промышленная безопасность» в 2007 году напечатаны статьи, посвященные определению рациональных путей повышения промышленной и экологической безопасности объектов водоподготовки и водоотведения ЖКХ [4, 5]. По сути это программные документы, которые могут быть восприняты как рекомендации по развитию технологий и техники обеззараживания и очистки воды в нашей стране.

Важным в этих статьях является сделанный на основе анализа существующих в мире технологий обеззараживания воды и промышленно-бытовых сточных вод вывод о том, что использование на водоочистных сооружениях озонаторов или установок для ультрафиолетового облучения воды обязательно должно сочетаться с хлорированием, обеспечивающим длительное сохранение обеззараживающего воздействия [4]. Также важным и обоснованным решением является отказ от применения в качестве единственного биоцидного средства диоксида хлора. Можно с уверенностью сказать, что эти два важных вывода, будучи реализованными, долгие годы смогут служить во благо людей и позволят сэкономить огромные средства как в системе ЖКХ, так и в системе здравоохранения России.

В последние годы в российских технических журналах достаточно часто появляются статьи, в которых авторы, описывая некие инновационные технологии, приводят информацию, противоречащую научным представлениям в соответствующих областях знаний и накопленному в мире опыту.

Например, на основе каких-либо экспериментальных исследований утверждается, что гипохлорит натрия оказывает более сильное дезинфицирующее действие, нежели хлор. При этом приводятся химические реакции, доказывающие полную идентичность веществ, образующихся при растворении в воде хлора и гипохлорита натрия. Однако, из школьного курса химии известно, что любая соль как продукт взаимодействия соответствующих кислоты и основания имеет меньшую химическую активность в сравнении с исходными веществами. Гипохлорит натрия – соль хлорноватистой кислоты и гидроксида натрия, поэтому, по определению, он обладает гораздо меньшей антимикробной активностью, что подтверждено тысячами и тысячами авторитетнейших исследований, в частности, в обобщенной форме, в [1], где, например, показано, что для достижения одинакового эффекта обеззараживания питьевой воды хлорноватистой кислотой, гипохлоритом натрия и хлораминном при одной и той же концентрации активного хлора (0,1 мг/л), упомянутым

реагентам требуется время менее 2 минут, более 100 минут и около 500 минут, соответственно. Если вода обеззараживается равными дозами щелочного гипохлорита и кислой хлорной воды, то в полном соответствии с принципом Ле-Шателье и законом действующих масс для скорости химических реакций, также известными из школьного курса химии, даже при одинаковом конечном значении pH обеззараженной воды в первом случае соединения активного хлора в воде будут преимущественно представлены малоактивными гипохлорит-ионами, а во втором случае – хлорноватистой кислотой.

Всем, кто переходит или собирается переходить на обеззараживание воды растворами гипохлорита натрия, необходимо помнить, что вместе с собственно гипохлоритом в воду поступает равное (в лучшем случае) или гораздо большее (практически всегда) количество балластных электролитов – соли и щелочи, что интенсифицирует коррозию металла трубопроводов [6-9], вызывает отложение минеральных осадков на поверхности водоводов [10-12], способствует образованию побочных продуктов хлорирования в гораздо больших количествах, чем при использовании хлора [1]. Также необходимо помнить, что даже незначительное повышение минерализации питьевой воды, что обязательно имеет место при использовании гипохлорита, не способствует улучшению ее влияния на организм человека [14, 15] и заведомо ухудшает экологическое равновесие в окружающей среде [16].

Применение гипохлорита для обеззараживания воды почти неизбежно требует ее аммонизации, поскольку только наличие в воде хлораминов способно обеспечить требуемые по санитарным нормативам уровни активного хлора в протяженных водоводах, где биопленки поглощают и дезактивируют вредный для них свободный хлор и оставляют хлорамин, органическую часть молекул которого легко утилизируют многие бактерии. За рубежом в последние годы интенсифицировались научные исследования по влиянию хлораминов в питьевой и сточной воде на организм человека и экосистемы. О вреде и сильнейшем аллергенном действии хлораминов в последнее время опубликовано несколько десятков научных работ, например [17-20].

Появились статьи о диоксиде хлора и диоксиде хлора в смеси с хлором как реагентах, решающих полностью проблемы обеззараживания воды. Однако, во всех случаях применения диоксида хлора больше проблем, чем решений, о чем свидетельствуют публикации зарубежных исследователей, имеющих несравненно больший опыт в применении и исследовании этих агентов в сравнении с аналогичным опытом и исследованиями на пространствах стран СНГ [21, 22]. В частности, совершенно безразлично, из какого основного исходного вещества производится диоксид хлора: из хлорита или хлората натрия. Все исходные продукты опасны, их производство осуществляется на специализированных электрохимических предприятиях, их транспортировка и хранение требуют особых мер безопасности, не говоря уже о требовании повышенной точности дозировки диоксида хлора в зависимости от химического состава обеззараживаемой воды.

Часто говорят о замене ядовитого хлора на безопасное для здоровья человека ультрафиолетовое облучение воды. Все было бы хорошо, если бы вода непосредственно из зоны ультрафиолетового воздействия попадала бы прямо в рот человека, а не проделывала бы длинный путь по водоводам, покрытым изнутри биопленкой, кишасей всевозможными микроорганизмами. Эти микроорганизмы находятся вне досягаемости ультрафиолета, даже если расстояние, отделяющее их от смертельного облучения, исчисляется несколькими миллиметрами, и не знают о том, что где-то там, выше по течению, есть мощная «колотушка», которая уничтожает им подобных. Наоборот, они радуются тому, что в поступающей к ним воде меньше количество «конкурентов» и большее количество «пищи».

Посмотрим, что происходит в медицине, где борьба с микроорганизмами так же актуальна, как и в водоподготовке.

Сразу отметим, что эйфория от применения ультрафиолета среди эпидемиологов лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ) отсутствует полностью, в отличие от специалистов нынешних российских инновационных технологий водоподготовки. В медицинских учреждениях ультрафиолет занимает строго ограниченную и соответствующую его возможностям нишу и ни в коем случае не заменяет химических

средств обеззараживания, выполняя скромную роль их помощника лишь в некоторых областях. Понимание того, что мир микробов намного старше нашего, и что микробы обладают невероятными (с точки зрения человека) возможностями адаптации и выживания, пришло к медикам очень давно. Медицинский работник никогда не заявит, что благодаря ультрафиолетовому облучению вода превратилась в стерильную. Достаточно вспомнить содержание этикеток на лекарствах и пищевых продуктах, чтобы понять: любой сосуд (ампула с лекарством, банка с консервами) заражаются микробами в тысячные доли секунды после нарушения герметичности. То же самое происходит с водой после выхода ее из зоны облучения ультрафиолетом.

Самыми главными принципами для создания «идеального» жидкого средства для борьбы с микробами в медицинской практике являются следующие:

- антимикробное средство должно обладать широким спектром антимикробного действия, т.е. эффективно уничтожать бактерии, микобактерии, вирусы, грибы и споры вне зависимости от продолжительности и частоты применения, что предполагает наличие свойств, препятствующих микроорганизмам выработать резистентность;
- антимикробное средство должно быть безопасным для человека и животных как во время его приготовления и применения, так и после окончания использования по назначению, т.е. в период деградиционных и деструктивных изменений под влиянием факторов внешней среды или в результате процессов биодеградации в организме человека, т.е., иными словами, антимикробное средство и продукты его естественной или искусственной деградации не должны содержать веществ-ксенобиотиков;

Применительно к технологии водоподготовки эти принципы вполне актуальны. Тем более, что будучи давно реализованными в медицине, эти принципы достаточно быстро распространяются во все сферы человеческой деятельности. Их реализация стала возможной благодаря пониманию механизма, используемого Природой для защиты организма человека и животных от инфекций, а также благодаря новым (по нынешней моде «инновационным») техническим и технологическим решениям, обеспечивающим творческое («креативное») копирование технологий, созданных Природой для повседневных нужд человека.

Рассмотрим механизм антибактериальной защиты, созданный Природой и функционирующий во внутренней среде человека и животных на протяжении миллионов лет без каких-либо сбоев.

Хорошо и давно известно [23], что ведущая роль в бактерицидном действии нейтрофилов принадлежит хлорноватистой кислоте (HClO), вырабатываемой фагоцитирующими клетками. При респираторном взрыве до 28 % от общего количества кислорода, потребляемого нейтрофилами, расходуется на образование HClO. Образование HClO в нейтрофилах происходит из перекиси водорода и хлорид-ионов. Катализатором в этой реакции выступает миелопероксидаза (МПО): $H_2O_2 + Cl^- \rightarrow [Cat (МПО)] \rightarrow HClO + OH^-$ [24, 25].

Хлорноватистая кислота диссоциирует в водной среде с образованием гипохлорит-аниона и иона водорода: $HClO \leftrightarrow H^+ + ClO^-$.

При значениях pH, близких к нейтральному, концентрации HClO и гипохлорит-анионов ClO⁻ приблизительно равны. Понижение pH приводит к сдвигу равновесия этой реакции в сторону увеличения концентрации HClO, увеличение – в сторону повышения концентрации гипохлорит-анионов.

Образование H₂O₂ и HClO в короткий период времени (доли секунды) в малом объеме водной среды (доли микролитра) – т.е. в объеме активной зоны фагоцитоза неизбежно должно сопровождаться реакциями спонтанного распада и взаимодействия продуктов превращений этих соединений с образованием активных частиц, аналогичных тем, которые образуются при радиолизе или электролизе воды.

Самопроизвольный распад перекиси водорода в водной среде сопровождается образованием соединений, обладающих очень высокой антимикробной активностью (в скобках приведены соответствующие химические реакции): HO₂⁻ – анион гидропероксида (H₂O₂ + OH⁻ → HO₂⁻ + H₂O); O₂²⁻ – пероксид-анион (OH⁻ + HO₂⁻ → O₂²⁻ + H₂O); O₂⁻ –

супероксид-анион ($O_2^{2-} + H_2O_2 \rightarrow O_2^- + OH^- + OH^\bullet$); HO_2^\bullet – радикал пероксида водорода ($HO^\bullet + H_2O_2 \rightarrow H_2O + HO_2^\bullet$); HO_2 – супероксид водорода ($O_2^- + H_2O \rightarrow HO_2 + OH^-$). Одновременно возможным является процесс образования чрезвычайно реакционно-способного синглетного кислорода 1O_2 : ($ClO^- + H_2O_2 \rightarrow ^1O_2 + H_2O + Cl^-$). Экспериментально установлено [24, 25] участие в реакциях фагоцитоза молекулярного ион-радикала кислорода O_2^- , одним из путей образования которого может быть описанный выше.

Известно, что в водной среде в присутствии $HClO$ и ClO^- возможно образование активных свободных радикалов ClO^\bullet , Cl^\bullet , HO^\bullet : ($HClO + ClO^- \rightarrow ClO^\bullet + Cl^- + HO^\bullet$). Также весьма вероятным, с позиций современной теории каталитических процессов, представляется образование промежуточного активированного комплекса с участием в качестве катализатора миелопероксидазы. Распад этого комплекса сопровождается образованием O^\bullet , возвращением катализатора в исходное состояние и подкислением среды: $HClO + ClO^- \rightarrow [HClO \leftrightarrow Cat (MPO) \leftrightarrow ClO^-] \rightarrow 2Cl^- + 2O^\bullet + H^+$.

Активные гипохлорит-радикалы ClO^\bullet могут принимать участие в реакциях образования атомарного кислорода (O^\bullet) и радикала гидроксила (HO^\bullet): $ClO^\bullet + ClO^- + OH^- \rightarrow Cl^- + 2O^\bullet + OH^\bullet$. Дальнейшее развитие цепи происходит в процессе формирования атомарного хлора: $OH^\bullet + Cl^- \rightarrow Cl^\bullet + OH^-$.

Образующиеся радикалы, атомарный кислород принимают участие в уничтожении микроорганизмов, взаимодействуя с биополимерами, способными к окислению, например, в соответствии с реакциями: $RH_2 + OH^\bullet \rightarrow RH^\bullet + H_2O$; $RH_2 + Cl^\bullet \rightarrow RH^\bullet + HCl$; $RH_2 + O^\bullet \rightarrow RH^\bullet + OH^\bullet$.

Метаустойчивая смесь соединений, образующаяся в процессе фагоцитоза, является весьма эффективным средством уничтожения микроорганизмов, поскольку обладает множеством спонтанно реализующихся возможностей необратимого нарушения жизненно важных функций биополимеров микроорганизмов на уровне реакций передачи электронов. Метаустойчивые частицы с различными значениями электрохимического потенциала обладают универсальным спектром действия, т.е. способны оказывать повреждающее действие на все крупные систематические группы микроорганизмов (бактерии, микобактерии, вирусы, грибы, споры), не причиняя вреда клеткам тканей человека и других высших организмов, т.е. соматическим животным клеткам в составе многоклеточной системы.

Это обусловлено принципиальными отличиями в строении и условиях жизни клеток этих форм жизни. Клетки высших организмов в процессе жизнедеятельности, например, в оксигенных реакциях функционирования цитохрома P-450, во время фагоцитоза при адгезии и обездвиживании микробных клеток, продуцируют и используют целый ряд высокоактивных оксидантов. Эти клетки обладают мощной химической системой антиоксидантной защиты, предотвращающей токсическое воздействие подобных веществ на жизненно важные клеточные структуры. Антиоксидантные свойства соматических клеток связаны с наличием мощной трехслойной липопротеидной оболочки, которая содержит обладающие электрондонорными свойствами диеновые конъюгаты ($-C=C-$) и сульфгидрильные группы (SH). Микроорганизмы не имеют мощных систем антиоксидантной защиты с участием указанных химических групп.

Все соматические клетки животных организмов являются гетеротрофами: их трофика зависит от наличия во внеклеточной среде питательных компонентов: глюкозы, аминокислот, жирных кислот. Биологическое благополучие соматической клетки зависит от того места, которое она занимает в процессе распределения трофических функций всех элементов многоклеточной системы (клетка поддерживает клетку). Функции трофики животных клеток подчиняются закону взаимозаменяемости. Если трофика одной отдельной клетки нарушена, то это нарушение может быть скорректировано нейротрофическими регуляциями, эндокринными регуляциями, функцией соседних клеток, репаративными процессами, нутритивной функцией крови и т.д.

Все микробные клетки являются аутотрофами, и их питание зависит от их собственной энергетической активности, т.е. если ферментные процессы внутри микробной клетки подавлены, то это влечет за собой ее гибель, поскольку компенсаторные механизмы отсутствуют. Микробная клетка обеспечивает все свои трофические функции только за счет ферментных реакций. Взаимодействие между микробными клетками в среде их обитания не является компенсаторным, т.е. уязвимое место микробной клетки - это ее автономизм.

Максимальное использование фундаментальных различий живых существ микро- и микробиологического мира является идеологической основой электрохимически активированных антимикробных растворов, вырабатываемых установками СТЭЛ и АКВАХЛОР.

В российских лечебно-профилактических учреждениях в настоящее время работают более 40 000 установок СТЭЛ, которые производят из поваренной соли и воды электрохимически активированный анолит АНК. В каждой московской больнице найдется не менее десятка таких установок. В московской ГКБ № 15 установки СТЭЛ работают с 1989 года, в ГКБ № 52 – с 1997 года. За все это время ни в одном из тысяч мест эксплуатации установок СТЭЛ не отмечено ни одного случая появления резистентной микрофлоры. Эти данные – официальные, они подтверждены многими тысячами страниц экспертных заключений, протоколов, актов обследования, анализов, научных отчетов, методических указаний, регламентов, инструкций.

Что же представляет из себя анолит АНК? Это экологически чистый раствор с широким спектром антимикробной активности универсального назначения: моющий, дезинфицирующий, стерилизующий и, одновременно, эффективное лекарственное средство для местного и наружного применения (согласно соответствующей фармстатье). Технология получения анолита АНК не изменялась с момента его создания: исходная вода или водно-солевой раствор насыщаются растворенным водородом и подщелачиваются за счет смешивания с продуктами катодных реакций, ионы тяжелых и щелочноземельных металлов превращаются в нерастворимые гидроксиды, которые вместе с избытком водорода удаляются в дренаж во флотационном реакторе, а затем в подготовленную таким образом среду вводятся продукты анодного окисления раствора, именуемые смесью оксидантов.

В анолите АНК, имеющем нейтральное значением pH, активно действующие вещества (АДВ) представлены преимущественно хлорноватистой кислотой, небольшим количеством гипохлорит-ионов, диоксидом хлора, озоном, пероксидом водорода, синглетным кислородом. Получить подобную смесь оксидантов химическим путем невозможно, однако, она образуется в организме человека в процессе фагоцитоза за счет электрохимических реакций в ферменте цитохром P-450 и существует очень короткое время, решая задачи борьбы с инфекцией. Специфические условия электрохимического синтеза в электрохимических реакторах установок СТЭЛ могут создать условия для длительного (от нескольких дней до двух-трех месяцев) сосуществования в растворе метастабильных частиц – антагонистов. Анолит АНК (Анолит Нейтральный с предшествующей Катодной обработкой) представляет собой в сравнении с традиционными дезсредствами принципиально новый объект, подобный холодной плазме в отличие, например, от горячей плазмы пламени спиртовки. В обоих случаях имеют место метастабильные частицы, к которым микроорганизмы не могут выработать резистентность по принципиальным соображениям и химический состав которых невозможно препарировать для тщательного изучения каждого отдельного компонента. Именно поэтому анолит АНК при концентрации АДВ всего 0,03% уничтожает споры сибирской язвы за считанные секунды, в то время как для достижения такого же результата раствору гипохлорита натрия с концентрацией АДВ в 15 раз большей требуется не менее 30 минут. Эти данные приведены из научного отчета Мемориального Института Battelle (США), однако в той или иной форме они подтверждены исследовательскими организациями более чем в 50 странах, в том числе и в России. Анолит АНК давно сертифицирован под различными торговыми названиями во многих странах (более 30), давно включен в Европейский перечень средств, разрешенных для обработки эндоскопов (European Society of Gastrointestinal Endoscopy Nurses and Associates – ESGE

Guidelines Committee). Анолит АНК, который производится в установках, снабженных запатентованными российскими изобретателями реакторами, давно и успешно используется в Голландии для обеззараживания питьевой воды (имеется сертификат), в США - для повышения сохранности пищевых продуктов (зелени на прилавках магазинов, мяса, рыбы, морепродуктов). Сфера применения электрохимически активированных растворов постоянно расширяется [27-64]. Главным отличием электрохимически активированных растворов оксидантов от обычных растворов хлора, гипохлорита натрия, пероксида водорода, диоксида хлора является то, что в них длительное время могут сосуществовать вещества – антагонисты, которые в обычных растворах вступают в реакции нейтрализации и взаимоуничтожаются.

Установки СТЭЛ до настоящего времени применялись в основном только в лечебно-профилактических учреждениях. Однако, в настоящее время в России подготовлена к серийному производству новая установка для получения анолита АНК: СТЭЛ-АНК-ПРО, производительность которой по оксидантам достигает 0,5 кг/час. Анолит АНК, полученный в этой установке, имеет в своем составе те же самые действующие вещества, о которых говорилось выше, но отличается крайне малой общей минерализацией, сравнимой с минерализацией пресной воды при нейтральном значении рН. Это придает ему ряд новых качеств и делает незаменимым для дезинфекции воды на водозаборах любой производительности, для обеззараживания воды плавательных бассейнов и сточных вод инфекционных больниц. Абсолютным преимуществом установки СТЭЛ-АНК-ПРО перед всеми известными системами в мире является то, что она производит анолит АНК с рН от 6 до 7, и при этом из этой установки сбрасывается небольшое количество воды с рН от 8,5 до 9,0 практически с той же минерализацией, что исходная. Эта вода с несколько повышенным рН, однако, находящимся в пределах действующих санитарных норм, может направляться к точке ввода перед фильтрами водоочистительной станции или добавляться непосредственно в поток обеззараживаемой воды до точки ввода анолита АНК. Таким образом, установка СТЭЛ-АНК-ПРО полностью решает задачу производства «лишнего» гидроксида натрия.

Менее сложной конструктивно и технологически, в сравнении с установкой СТЭЛ-АНК-ПРО, является установка АКВАХЛОР. Раствор оксидантов, производимый установками АКВАХЛОР, также содержит в себе смесь тех же самых оксидантов, которая, в отличие от технологии получения анолита АНК, вводится в воду без ее предварительной подготовки (отсутствуют стадии насыщения водородом и удаления ионов тяжелых и щелочноземельных металлов из воды). Поэтому рН раствора оксидантов, полученного в установках АКВАХЛОР не превышает 3,0. Фактически, установки АКВАХЛОР представляют собой промышленные модульные системы для обеззараживания воды метастабильной смесью оксидантов (мини хлоркаустиковые заводы). Они обеспечивают не только производство оксидантов, но также получение второго продукта – концентрированного раствора гидроксида натрия (150 – 170 г/л), который может использоваться в технологии водоподготовки (для растворения коагулянтов, для периодической очистки песчано-гравийных фильтров от отложений), а также в качестве моюще-дезинфицирующего средства (содержание гипохлорита натрия в растворе щелочи составляет от 1 до 3 г/л) на фабриках первичной мойки шерсти, на мясокомбинатах, птицефабриках для мойки оборудования и др.

Обобщенные данные из научных отчетов за последние 10 лет о свойствах раствора оксидантов, полученного в установках АКВАХЛОР, приведены в таблице 2.

Для того, чтобы не перегружать статью данными из многочисленных отчетов и разрешительных документов различных стран, приведем фрагмент из Инструкции по применению раствора оксидантов, вырабатываемого установками АКВАХЛОР, утвержденной главным государственным санитарным врачом РФ в начале 2009 года [65]. Эта Инструкция основана на большом количестве официальных документов и в сжатой форме характеризует основные аспекты по применению электрохимически активированного раствора оксидантов для обеззараживания воды.

Таблица 2.

Характеристика нового альтернативного дезинфектанта воды – раствора оксидантов из установки АКВАХЛОР

Наименование и характеристика дезинфектанта	Достоинства	Недостатки
<p>Раствор оксидантов из установки АКВАХЛОР Получен электрохимическим синтезом из раствора хлорида натрия влажной газообразной смеси оксидантов – хлора, диоксида хлора, озона, гидропероксидных соединений</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ эффективен при пониженных дозах ▪ не способствует образованию тригалометанов ▪ разрушает фенолы - источник неприятного вкуса и запаха ▪ является эффективным окислителем и дезинфектантом для всех видов микроорганизмов, включая цисты (<i>Giardia</i>, <i>Cryptosporidium</i>), вирусов, микобактерий, спор, микробных токсинов ▪ не образует броматов и броморганических побочных продуктов дезинфекции в присутствии бромидов ▪ способствует удалению из воды железа и марганца путем их быстрого окисления и осаждения оксидов ▪ способствует удалению мутности из воды ▪ удаляет посторонние привкусы и запахи ▪ не требует транспортировки и хранения опасных химикатов 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ требует наличия электроэнергии, напорной линии подачи воды ▪ требует небольшого расхода соляной кислоты для очистки электродов при использовании соли низкого качества (с большим содержанием ионов кальция, магния и железа), либо системы химического, например, бикарбонатом натрия, умягчения исходного раствора хлорида натрия. Однако, в 2008 году разработана технология и технические средства для получения соляной кислоты из хлора и водорода, синтезируемых установкой АКВАХЛОР

«1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСТАНОВКАХ «АКВАХЛОР»

1.1. Установки АКВАХЛОР предназначены для получения раствора смеси оксидантов из водного раствора хлорида натрия. Установки выпускаются ООО «Лаборатория электротехнологии» и ОАО «НПО ЭКРАН» в виде модулей производительностью от 30 до 500 граммов газообразной смеси оксидантов в час в соответствии с ТУ 3614-037-44464870-2005 и ТУ 3614-702-05834388-02. В установках АКВАХЛОР использован новый технологический процесс электролиза раствора хлорида натрия – ионселективный электролиз с диафрагмой, что обеспечивает сочетание в одном устройстве высокой экономичности с полной безопасностью в эксплуатации. При получении 1 кг смеси оксидантов в пересчете на молекулярный хлор в установках АКВАХЛОР расходуется не более 2,0 кг хлорида натрия и от 1,8 до 3,5 кВт×ч электроэнергии.

Из раствора хлорида натрия, который дозированно вводится мембранным насосом в реактор установок АКВАХЛОР, в анодных камерах компактных проточных модульных элементов с оксидно-циркониевыми керамическими диафрагмами под давлением от 0,8 до 1,2 кгс/см² синтезируется влажная газообразная смесь оксидантов, которая сразу после образования смешивается с водой, образуя аналог хлорной воды. Действующие вещества в водном растворе смеси оксидантов, имеющем рН от 2,0 до 3,5, представлены хлорноватистой кислотой и молекулярным хлором.

1.2. Установки АКВАХЛОР являются альтернативным компактным и высокопроизводительным источником смеси оксидантов и могут использоваться в качестве замены баллонов и контейнеров с жидким хлором и, собственно, хлораторов на станциях очистки воды хозяйственно-питьевого водоснабжения, на локальных станциях очистки воды, на сооружениях очистки бытовых и промышленных сточных вод, в системах очистки воды плавательных бассейнов как в виде единичных модулей, так и в виде группы модулей, объединенных в единую гидравлическую систему с заданной производительностью по оксидантам – от 30 граммов в час до сотен килограммов в час.

1.3. Безопасная эксплуатация установок АКВАХЛОР и отсутствие риска отравления обслуживающего персонала и окружающей среды неконтролируемым выбросом газообразной смеси оксидантов гарантированы малым объемом газообразных продуктов электролиза (менее 100 мл в одном модуле АКВАХЛОР-500), которые под давлением от 0,8 до 1,2 кгс/см² во время работы установки поступают по фторопластовым трубкам в регулятор давления, растворяются в протекающей воде, превращаясь в водный раствор смеси оксидантов с концентрацией 0,5 – 3,5 г/л. (в зависимости от модификации исполнения установки). Технология синтеза газообразной смеси оксидантов в установках АКВАХЛОР исключает возможность её накопления или хранения. Нарушение герметичности реактора установки АКВАХЛОР приводит к мгновенной остановке процесса выработки газообразных оксидантов.

В конструкции установок АКВАХЛОР предусмотрено автоматическое их отключение в случае прекращения протока воды от напорной водопроводной линии через установку. Также на блоке управления установки имеется гнездо для соединения с датчиком подачи сигнала, отключающего установку, полученного от какой-либо системы оповещения об опасности, например, сигнализатора задымленности, сигнализатора опасного уровня хлора в помещении и т.п.

1.4. В качестве исходного раствора хлорида натрия в установках АКВАХЛОР используется водный раствор нейодированной пищевой соли, например, по ГОСТ Р 51574. Степень превращения хлорида натрия, содержащегося в исходном растворе концентрацией 200 - 250 г/л, в установке АКВАХЛОР достигает 99%, поэтому из каждого килограмма расходуемой соли производится приблизительно 0,5 кг смеси газообразных оксидантов, представленных хлором (95 – 96%), диоксидом хлора (3 – 4%), озоном (0,5 – 1,0%), а также гидропероксидными соединениями (перекись водорода, синглетный кислород, супероксидные радикалы), содержащимися в микрокапельках влаги (0,2 – 0,5%). При этом одновременно образуется приблизительно 0,7 кг гидроксида натрия (NaOH) в виде раствора концентрацией 120 – 150 г/л (4,0 – 7,0 л/ч) и около 17 граммов водорода, который по специальному шлангу отводится за пределы помещения, в котором смонтирована установка АКВАХЛОР.

1.5. Раствор смеси оксидантов, полученный в установках АКВАХЛОР, подается в поток обрабатываемой воды с помощью штатного эжекторного насоса, или посредством прямого ввода (по существующей линии ввода хлорной воды, по специально проложенному трубопроводу из поливинилхлорида, полиэтилена, полипропилена), или через накопительную емкость, оборудованную автоматической или управляемой вручную системой дозирования.

Раствор гидроксида натрия (каустической соды) далее - католит, полученный в установках АКВАХЛОР, можно использовать для приготовления растворов коагулянтов, в качестве эффективного моющего средства, для регулирования pH воды (питьевой, сточной, воды плавательных бассейнов), для регулирования pH раствора оксидантов путем смешивания католита с раствором оксидантов в различных пропорциях. При смешивании всего количества католита с раствором оксидантов происходит образование раствора гипохлорита натрия с pH от 8,5 до 9,0. Данный раствор также может быть использован для обработки воды, хотя и является менее эффективным дезинфицирующим средством в сравнении с раствором оксидантов.

1.6. Раствор смеси оксидантов, вырабатываемый установками АКВАХЛОР, является более эффективным антимикробным и окислительным реагентом, чем растворы моновеществ в воде, которые образуются при растворении в воде только хлора, только диоксида хлора или только озона, поскольку химические реакции с его использованием подчиняются закономерностям синергизма, а наличие малого количества более мощных окислителей, чем хлор, предотвращает образование тригалометанов при обработке воды, содержащей большое количество гумусовых соединений.

В связи с этим Управлением Роспотребнадзора в субъектах Российской Федерации рекомендуется периодически производить уточнение необходимой для обеззараживания

воды суммарной концентрации оксидантов в обрабатываемой воде в сторону ее снижения в сравнении с существующими нормативами.

1.7. Суммарную концентрацию оксидантов в растворе, вырабатываемом установками АКВАХЛОР, возможно определять с помощью любого из методов, изложенных в Приложении 1 при условии отбора пробы в соответствии с методикой, используемой при тестировании установок АКВАХЛОР на предприятии – изготовителе.

Концентрацию оксидантов в обеззараживаемой воде следует определять в соответствии со стандартными методиками, предусмотренными и утвержденными в установленном порядке соответствующими нормативными документами.

1.8. Установки АКВАХЛОР рекомендуется эксплуатировать в стандартном помещении хлораторной или в любом отапливаемом помещении, оборудованном приточно-вытяжной вентиляцией с однократной сменой воздуха в объеме помещения в час. Обязательным является наличие в помещении водопроводной напорной линии, канализационного стока, электрической розетки 220 вольт типа «Европа» мощностью до 1,2 кВт (для одного модуля установки АКВАХЛОР-500). Образующийся при получении раствора смеси оксидантов водород следует отводить с помощью шланга, соединенного с газоотделителем установки АКВАХЛОР, за пределы помещения.

2. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ В СИСТЕМАХ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Обеззараживание воды хозяйственно-питьевого назначения раствором оксидантов, вырабатываемым установками АКВАХЛОР, осуществляется в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», согласно которым содержание остаточного хлора в воде после резервуаров чистой воды должно быть в пределах, указанных в таблице 3.

Таблица 3.

Хлор остаточный	Концентрация остаточного хлора, мг/л	Необходимое время контакта хлора с водой, мин., не менее
1. Свободный	0,3 – 0,5	30
2. Связанный	0,8 – 1,2	60

Для получения раствора оксидантов используется питьевая вода напорной водопроводной линии с давлением 2-6 атм.

Контроль за содержанием остаточного хлора в воде производится персоналом лаборатории организации, эксплуатирующей установки. Контроль за состоянием воды перед подачей воды потребителю ведется по усмотрению Управлений Роспотребнадзора в субъектах Российской Федерации в соответствии с СанПин 2.1.4.1074-01 на всех этапах водоподготовки. При одновременном присутствии в воде свободного и связанного хлора их общая концентрация не должна превышать 1,2 мг/л. В отдельных случаях при наличии эпидемиологического риска по указаниям Управлений Роспотребнадзора в субъектах Российской Федерации или по согласованию с ними допускается повышенная концентрация остаточного хлора в воде. При необходимости борьбы с биологическими обрастаниями в водопроводной сети, места введения и дозы хлора согласовываются с Управлениями Роспотребнадзора в субъектах Российской Федерации. На этапе подконтрольной эксплуатации конкретных систем подачи воды потребителю отрабатывается доза хлора, подаваемая в распределительную систему и гарантирующая конечный технологический эффект: обеззараживание воды до нормы в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

Определение свободного и связанного хлора в воде производится титриметрическим методом по ИСО 7393-1 (при общей концентрации хлора менее 5 мг/л) и по ИСО 7393-2 (при общей концентрации хлора более 5 мг/л), методом йодометрического титрования по ИСО 7393-3, или колориметрическим методом по ИСО 7393-2.

3. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Сточные воды характеризуются высокой степенью органической нагрузки. Эмпирически установленные значения обеззараживающих концентраций активного хлора в сточных водах могут достигать 15 мг/л. Соответственно раствор оксидантов из установок АКВАХЛОР с содержанием оксидантов 1 г/л при введении его в сточную воду должен быть разведен в пропорции 1:66. Для получения раствора оксидантов используется обрабатываемая сточная вода.

Пример. Получен раствор оксидантов из установки АКВАХЛОР с концентрацией 1,0 г/л (1000 мг/л). Для создания с помощью данного раствора дозы активного хлора 5 мг/л, необходимо добавлять литр раствора оксидантов на каждые 200 литров сточной воды (1000 : 5). При расчете дозы активного хлора для обработки загрязненной воды должна учитываться величина ее хлорпоглощения, определяемая в соответствии с требованиями стандарта ASTM D 1291-89.

Доза активного хлора должна превышать удельную величину хлорпоглощения воды таким образом, чтобы возникающая при этом концентрация активного хлора в воде обеспечивала требуемый технологический эффект (уровень обеззараживания, степень осветления и т.д.)

Сточные воды при добавлении раствора оксидантов из установок АКВАХЛОР частично осветляются в результате коагуляции органических соединений и должны подвергаться выдержке в колодцах-отстойниках. После проверки обработанных сточных вод по показателям бактериологической зараженности они поступают в резервуары-отстойники второй ступени, где могут вторично подвергаться обеззараживанию методом, описанным выше. Вопрос об отводе сточных вод, после обеззараживания должен решаться в каждом конкретном случае по согласованию с Управлениями Роспотребнадзора в субъектах Российской Федерации в полном соответствии требованиями СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод».

Методы определения свободного и связанного хлора при обеззараживании бытовых и промышленных сточных вод см. выше. Раздел 2 «Обеззараживание воды в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения».

4. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ

Для обеззараживания воды плавательных бассейнов необходимо непрерывно или периодически вводить в чашу бассейна раствор оксидантов из установок АКВАХЛОР. Для получения раствора оксидантов в этом случае используется, собственно, вода бассейна. Уровень концентрации хлора в воде плавательного бассейна должен находиться в диапазоне 0,3 - 0,5 мг/л. Например, в бассейн с объемом воды 100 м³ для получения концентрации активного хлора 0,5 мг/л необходимо ввести 50 литров раствора оксидантов концентрацией 1 г/л. В первые три дня после закачки воды в бассейн нормы подачи раствора оксидантов должны быть увеличены на 20 - 50%. В этом случае достигается устойчивое содержание остаточного хлора в воде на уровне не менее 0,3 мг/л.). Подача раствора оксидантов осуществляется в рециркуляционную систему бассейна из промежуточной накопительной емкости. Профилактическое «шоковое» воздействие на воду раствором оксидантов из установок АКВАХЛОР производится 1 - 2 раза в месяц на ночь. Количество добавляемого раствора должно быть таким, чтобы повысить уровень остаточного хлора в воде до 1,0 - 1,5 мг/л. Например, для бассейна 100 м³ это количество будет равно 100 - 150 л.

Применение в таком режиме раствора оксидантов из установок АКВАХЛОР не повышает рН воды. Оптимальные значения рН воды в чаше бассейна ≈ 6,0 – 6,5.

В каждом конкретном случае до сдачи системы водоподготовки бассейна в эксплуатацию с применением обеззараживания раствором оксидантов из установок АКВАХЛОР рекомендуется выполнение следующих мероприятий:

1. Промывка фильтровальной и рециркуляционной систем бассейна водой с содержанием оксидантов не менее 3 - 5 мг/л. При этом наблюдаются постепенные выносы в чашу бассейна биообрастаний из трубопроводов и фильтров. Такая очистка проводится в течение 6...24 часов, в зависимости от суммарного предыдущего срока эксплуатации бассейна.
2. Производится отработка режимно-технологических карт подачи раствора оксидантов в бассейн, которая предусматривает все изменения режимов работы аппаратуры в зависимости от меняющихся условий эксплуатации бассейна (загрузка купающимися, перегрев воды, режим освещения, длительность периода между полными заменами воды в бассейне).
3. При появлении в чаше бассейна придонного осадка рекомендуется его устранение с помощью аспирирующего устройства.»

В России сейчас работают около 300 установок АКВАХЛОР-500. Самая большая группа модулей (40 установок) смонтирована на предприятии МУП «Балаково-Водоканал». Они занимают площадь около 40 квадратных метров и производят в сутки 480 – 490 килограммов оксидантов в эквиваленте хлора. При этом, ежесуточное производство католита, содержащего 150 – 170 г/л гидроксида натрия составляет 6000 – 7000 литров. Католит используется на собственные нужды ВОС в соответствии с Инструкцией, фрагмент которой приведен выше. Самая долгорботающая группа установок АКВАХЛОР производительностью 9 кг оксидантов в час смонтирована на водоканале города Шымкент (Казахстан). К настоящему моменту они проработали в непрерывном режиме более 8 лет. Однако, большая часть производимых в России установок АКВАХЛОР и СТЭЛ экспортируется за рубеж. В числе стран, куда поставляются установки - Германия, Австрия, Польша, Чехословакия, Голландия, Финдландия, Ирландия, Англия, Индия, Вьетнам, Корея, Мексика, США и ряд других.

Количество научных публикаций за рубежом в области применения электрохимически активированных растворов в самых различных областях человеческой деятельности растет лавинообразно в течение последних пяти лет и к настоящему моменту перевалило за сто тысяч. В Интернете легко найти более миллиона ссылок на работы в области исследования и применения электрохимически активированных растворов (под различными торговыми и брендовыми наименованиями). В российской печати перечень серьезных научных работ в этой огромной, начинающей практически в последние годы развиваться области науки и техники, умещается на 20 страницах шрифтом Arial 12. При этом, все эти работы выполняются усилиями энтузиастов, без какой-либо государственной поддержки. Это, скорее всего, приведет к необходимости покупать установки АКВАХЛОР и СТЭЛ-АНК-ПРО из-за рубежа.

Литература.

1. Faust S.D., Aly O.M., *Chemistry of water treatment*, 2nd Edition, Lewis Publishers, L., NY, W. D.C., p. 582, 1998.
2. Geo Clifford White, *Handbook of chlorination and alternative disinfectants*, 4th edition, A Wiley-Interscience Publication, p. 1659, 1999.
3. *Water Quality & Treatment. A Handbook of Community Water Suppliers*. American Water Works Association. 5th edition. Technical Editor Raymond D. Letterman. McGRAW-HILL, INC., 1999.
4. Пуликовский К.Б., Кутьин Н.Г., Селезнев Г.М., Ягуд Ю.Б., Мартынов А.Н. Пути повышения промышленной и экологической безопасности объектов водоподготовки и водоотведения ЖКХ, *Безопасность труда в промышленности*. - 2007. - №5. – с. 3-7
5. Селезнев Г.М., Лыков С.М., Буракова Ю.В., Кармазинов Ф.В., Лобанов Ф.И. Новые технологии и оборудование для дезинфекции воды – альтернатива хлору, *Безопасность труда в промышленности*. - 2007. – №2. – с. 64-66

6. Iron release from corroded, unlined cast-iron pipe, **Journal AWWA (Journal of the American Water Works Association)**, ISSN: 1551-8833, November 2002.
7. The effect of chloride and orthophosphate on the release of iron from a drinking water distribution system cast iron pipe. Proceedings of the AWWA Water Quality Technology Conference, 2003
8. Iron release from corroded iron pipes in drinking water distribution systems: effect of dissolved oxygen. *Water Research Magazine*, March 2004
9. Effect of oxidants on the properties of Fe(III) particles and suspensions formed from the oxidation of Fe(II). *Journal AWWA*, August 2004
10. Geochemistry of sulfur in iron corrosion scales found in drinking water distribution systems. Proceedings of the AWWA Water Quality Technology Conference, 2004
11. Red water release in drinking water distribution systems. *Journal AWWA*, September 2005.
12. Effect of bacterial sulfate reduction on iron-corrosion scales. *Journal AWWA*, October 2005
13. Internal Corrosion of Distribution Systems, AWWA Ref. report, 2005.
14. Ford MD, *Clinical Toxicology*. 1st ed. Philadelphia, Pa: WB Saunders; 2001:753.
15. Agabiti N, Ancona C, Forastiere F, et al. Short term respiratory effects of acute exposure to chlorine due to a swimming pool accident. *Occup Environ Med*. 2001 Jun;58(6):399-404.
16. Lambert H, Manel J, Gabrion I. Poisoning by household products. *Rev Prat*. 2000 Feb 15; 50(4):365-71.
17. Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCHER): Risk Assessment Report on Sodium Hypochlorite Environmental Part. CAS No.: 7681-52-9 EINECS No.: 231-668-3, 2008
18. Dan Kroll. Security of National Water Supply. The American Society for Microbiology and ASM Biodefense and Emerging Disease Research Meeting, Washington D.C., March, 2007
19. Monochloramine Inhibits Phorbol Ester-inducible Neutrophil Respiratory Burst Activation and T Cell Interleukin-2 Receptor Expression by Inhibiting Inducible Protein Kinase C Activity. Tetsuya Ogino, Hirotsugu Kobuchi, Chandan K. Sen, Sashwati Roy, Lester Packer and John J. Maguire. Volume 272, Number 42, Issue of October 17, 1997, pp. 26247-26252.
20. Monochloramine Treatment Not As Effective In Protecting Drinking Water *The American Society for Microbiology and ASM Biodefense and Emerging Disease Research Meeting*
21. Byproduct of water disinfection process found to be highly toxic. University of Illinois at Champaign-Urbana, Medical News Today, 15 Sep 2004.
22. Feds draw on study of controversial chemical for new drinking water guidelines. Sarah Schmidt., CanWest News Service, *August 08, 2006*.
23. Toxicological Profile For Chlorine Dioxide and Chlorite. U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry September 2004.
24. Лопаткин Н.А., Лопухин Ю.М. Эфферентные методы в медицине (теоретические и экспериментальные аспекты экстракорпоральных методов лечения). - М.: Медицина, 1989. - 352 с.
25. Арчаков А.И., Карузина И.И. Окисление чужеродных соединений и проблемы токсикологии, *Вестник АМН СССР*. – 1998. - №1. - с. 14 - 28
26. Арчаков А.И. Микросомальное окисление. - М.: Наука, - 1975. - 327 с.
27. Electrolyzed Water and Its Application in the Food Industry. Authors: Hricova, D.; Stephan, R.; Zweifel, C. Source: *Journal of Food Protection®*, Volume 71, Number 9, September 2008 , pp. 1934-1947(14)
28. Effect of Electrolyzed Water for Reduction of Foodborne Pathogens on Lettuce and Spinach Authors: Park, E.-J.; Alexander, E.; Taylor, G.A.; Costa, R.; Kang, D.-H. Source: *Journal of Food Science*, Volume 73, Number 6, August 2008 , pp. M268-M272(1).
29. Shelf Life of Semifried Tuna Slices Coated with Essential Oil Compounds after Treatment with Anodic Electrolyzed NaCl Solution. Authors: Abou-Taleb, Mohamed; Kawai, Yuji Source: *Journal of Food Protection®*, Volume 71, Number 4, April 2008 , pp. 770-774(5).
30. Effect of Acidified Sodium Chlorite, Chlorine, and Acidic Electrolyzed Water on Escherichia coli O157:H7, Salmonella, and Listeria monocytogenes Inoculated onto Leafy Greens

- Authors: Stopforth, J.D.; Mai, T.; Kottapalli, B.; Samadpour, M.
Source: Journal of Food Protection®, Volume 71, Number 3, March 2008 , pp. 625-628(4)
31. Antimicrobial Effect of Electrolyzed Oxidizing Water against Escherichia coli O157:H7 and Listeria monocytogenes on Fresh Strawberries (Fragaria×ananassa)
Authors: Udompijitkul, P.; Daeschel, M.A.; Zhao, Y. Source: Journal of Food Science, Volume 72, Number 9, November/December 2007 , pp. M397-M406(1)
32. Electrolytic reduction improves treatability of humic acids containing water streams
Authors: Satyawali, Yamini; Van de Wiele, Tom; Saveyn, Hans; Van der Meeren, Paul; Verstraete, Willy. Source: Journal of Chemical Technology & Biotechnology, Volume 82, Number 8, August 2007 , pp. 730-737(8).
33. Less-oxidative hemodialysis solution rendered by cathode-side application of electrolyzed water. Authors: NAKAYAMA, Masaaki; KABAYAMA, Shigeru; TERAWAKI, Hiroyuki; NAKAYAMA, Keisuke; KATO, Kiyoshi; SATO, Toshinobu; ITO, Sadayoshi. Source: Hemodialysis International, Volume 11, Number 3, July 2007 , pp. 322-327(6).
34. Effect of pH on the Taste of Alkaline Electrolyzed Water. Authors: Koseki, M.; Tanaka, Y.; Noguchi, H.; Nishikawa, T. Source: Journal of Food Science, Volume 72, Number 5, June/July 2007 , pp. S298-S302(1).
35. Efficacy of Neutral Electrolyzed Water To Inactivate Escherichia coli, Listeria monocytogenes, Pseudomonas aeruginosa, and Staphylococcus aureus on Plastic and Wooden Kitchen Cutting Boards. Authors: Deza, M.A.; Araujo, M.; Garrido, M.J. Source: Journal of Food Protection®, Volume 70, Number 1, January 2007 , pp. 102-108(7).
36. Rinsing effect of alkaline electrolyzed water on nickel surfaces. Authors: Takenouchi, Toshikazu; Wakabayashi, Shin-ichi. Source: Journal of Applied Electrochemistry, Volume 36, Number 10, October 2006 , pp. 1127-1132(6).
37. Electrolyzed-reduced water protects against oxidative damage to DNA, RNA, and protein
Authors: Lee, Mi; Kim, Yoon; Ryoo, Kun; Lee, Yoon; Park, Eun. Source: Applied Biochemistry and Biotechnology, Volume 135, Number 2, June 2006 , pp. 133-144(12).
38. Effect of acidic electrolyzed water on the viability of bacterial and fungal plant pathogens and on bacterial spot disease of tomato. Authors: Abbasi, P A.; Lazarovits, G. Source: Canadian Journal of Microbiology, Volume 52, Number 10, 1 October 2006 , pp. 915-923(9).
39. DUAL-PHASIC INACTIVATION OF ESCHERICHIA COLI O157:H7 WITH PEROXYACETIC ACID, ACIDIC ELECTROLYZED WATER AND CHLORINE ON CANTALOUPE AND FRESH-CUT APPLES. Authors: WANG, HUA; FENG, HAO; LUO, YAGUANG. Source: Journal of Food Safety, Volume 26, Number 4, November 2006 , pp. 335-347(13).
40. Efficacy of Electrolyzed Water in the Inactivation of Planktonic and Biofilm Listeria monocytogenes in the Presence of Organic Matter. Authors: Ayebah, Beatrice; Hung, Yen-Con; Kim, Chyer; Frank, Joseph F. Source: Journal of Food Protection®, Volume 69, Number 9, September 2006 , pp. 2143-2150(8).
41. Use of Electrolyzed Water Ice for Preserving Freshness of Pacific Saury (Cololabis saira). Authors: Kim, Won-Tae; Lim, Yeong-Seon; Shin, Il-Shik; Park, Hoon; Chung, Donghwa; Suzuki, Tetsuya. Source: Journal of Food Protection®, Volume 69, Number 9, September 2006 , pp. 2199-2204(6).
42. Effects of Ultrasound, Irradiation, and Acidic Electrolyzed Water on Germination of Alfalfa and Broccoli Seeds and Escherichia coli O157:H7. Authors: Kim, Hyun Jung; Feng, Hao; Kushad, Mosbah M.; Fan, Xuetong. Source: Journal of Food Science, Volume 71, Number 6, August 2006, pp. M168-M173(1).
43. Effects of Electrolyzed Oxidizing Water Treatment on Reducing Vibrio parahaemolyticus and Vibrio vulnificus in Raw Oysters. Authors: Ren, Tingting; Su, Yi-Cheng. Source: Journal of Food Protection®, Volume 69, Number 8, August 2006 , pp. 1829-1834(6).
44. Susceptibility of Penicillium expansum Spores to Sodium Hypochlorite, Electrolyzed Oxidizing Water, and Chlorine Dioxide Solutions Modified with Nonionic Surfactants. Authors: Okull,

- Derrick O.; Demirci, Ali; Rosenberger, Dave; LaBorde, Luke F. Source: *Journal of Food Protection*®, Volume 69, Number 8, August 2006 , pp. 1944-1948(5).
45. Electrolyzed Oxidizing Anode Water as a Sanitizer for Use in Abattoirs. Authors: Bach, S.J.; Jones, S.; Stanford, K.; Ralston, B.; Milligan, D.; Wallins, G.L.; Zahiroddini, H.; Stewart, T.; Giffen, C.; McAllister, T.A. Source: *Journal of Food Protection*®, Volume 69, Number 7, July 2006 , pp. 1616-1622(7).
46. Change of Hygienic Quality and Freshness in Tuna Treated with Electrolyzed Water and Carbon Monoxide Gas during Refrigerated and Frozen Storage. Authors: Huang, Yu-Ru; Shiau, Chyuan-Yuan; Hung, Yen-Con; Hwang, Deng-Fwu. Source: *Journal of Food Science*, Volume 71, Number 4, May 2006 , pp. M127-M133(1).
47. Electrolyzed Reduced Water Supplemented with Platinum Nanoparticles Suppresses Promotion of Two-stage Cell Transformation. Authors: Nishikawa, Ryuhei; Teruya, Kiichiro; Katakura, Yoshinori; Osada, Kazuhiro; Hamasaki, Takeki; Kashiwagi, Taichi; Komatsu, Takaaki; Li, Yuping; Ye, Jun; Ichikawa, Akira; Otsubo, Kazumichi; Morisawa, Shinkatsu; Xu, Qianghua; Shirahata, Sanetaka. Source: *Cytotechnology*, Volume 47, Numbers 1-3, January 2005 , pp. 97-105(9)
48. Enhancing the Bactericidal Effect of Electrolyzed Water on *Listeria monocytogenes* Biofilms Formed on Stainless Steel. Authors: Ayebah, Beatrice; Hung, Yen-Con; Frank, Joseph F. Source: *Journal of Food Protection*®, Volume 68, Number 7, July 2005 , pp. 1375-1380(6)
49. Efficacy of Ozonated and Electrolyzed Oxidative Waters To Decontaminate Hides of Cattle before Slaughter. Authors: Bosilevac, Joseph M.; Shackelford, Steven D.; Brichta, Dayna M.; Koohmaraie, Mohammad. Source: *Journal of Food Protection*®, Volume 68, Number 7, July 2005, pp. 1393-1398(6).
50. Efficacy of Electrolyzed Water in Inactivating *Salmonella Enteritidis* and *Listeria monocytogenes* on Shell Eggs. Authors: Park, Chung-Myeon; Hung, Yen-Con; Lin, Chyi-Shen; Brackett, Robert E. Source: *Journal of Food Protection*®, Volume 68, Number 5, May 2005 , pp. 986-990(5).
51. Efficacy of Acidic Electrolyzed Water Ice for Pathogen Control on Lettuce. Authors: Shigenobu Koseki; Seiichiro Isobe; Kazuhiko Itoh. Source: *Journal of Food Protection*®, Volume 67, Number 11, November 2004 , pp. 2544-2549(6).
52. Effects of Water Source, Dilution, Storage, and Bacterial and Fecal Loads on the Efficacy of Electrolyzed Oxidizing Water for the Control of *Escherichia coli* O157:H7. Authors: S.M.L. Stevenson; S.R. Cook; S.J. Bach; T.A. McAllister. Source: *Journal of Food Protection*®, Volume 67, Number 7, 1 July 2004 , pp. 1377-1383(7).
53. Efficacy of electrolyzed acid water in reprocessing patient-used flexible upper endoscopes: Comparison with 2% alkaline glutaraldehyde. Authors: LEE, JUN HAENG; RHEE, POONG-LYUL; KIM, JEONG HWAN; KIM, JAE J; PAIK, SEUNG WOON; RHEE, JONG CHUL; SONG, JAE-HOON; YEOM, JOON SUP; LEE, NAM YONG. Source: *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, Volume 19, Number 8, August 2004 , pp. 897-903(7).
54. Efficacy of Acidic Electrolyzed Water for Microbial Decontamination of Cucumbers and Strawberries. Authors: Koseki S.; Yoshida K.; Isobe S.; Itoh K. Source: *Journal of Food Protection*®, Volume 67, Number 6, 1 June 2004 , pp. 1247-1251(5).
55. The Bactericidal Effects of Electrolyzed Oxidizing Water on Bacterial Strains Involved in Hospital Infections. Authors: Vorobjeva N.V.; Vorobjeva L.I.; Khodjaev E.Y. Source: *Artificial Organs*, Volume 28, Number 6, June 2004 , pp. 590-592(3).
56. ENDOSCOPE CONTAMINATION FROM HBV- AND HCV-POSITIVE PATIENTS AND EVALUATION OF A CLEANING/DISINFECTING METHOD USING STRONGLY ACIDIC ELECTROLYZED WATER. Authors: Sakurai, Yukihiro; Nakatsu, Masami; Sato, Yuko; Sato, Kinuko
Source: *Digestive Endoscopy*, Volume 15, Number 1, January 2003 , pp. 19-24(6).
57. Reduced hemodialysis-induced oxidative stress in end-stage renal disease patients by electrolyzed reduced water. Authors: Huang, Kuo-Chin; Yang, Chih-Ching; Lee, Kun-Tai; Chien, Chiang-Ting. Source: *Kidney International*, Volume 64, Number 2, August 2003 , pp. 704-714(11).

58. Efficacy of Electrolyzed Oxidizing Water in Inactivating Salmonella on Alfalfa Seeds and Sprouts. Authors: Kim Chyer; Hung Yen-Con; Brackett Robert E.; Lin Chyi-Shen. Source: Journal of Food Protection®, Volume 66, Number 2, 1 February 2003 , pp. 208-214(7).
59. Inactivation of Escherichia coli O157:H7, Salmonella enteritidis and Listeria monocytogenes on the surface of tomatoes by neutral electrolyzed water. Authors: Deza M.A.; Araujo M.; Garrido M.J. Source: Letters in Applied Microbiology, Volume 37, Number 6, December 2003 , pp. 482-487(6).
60. Reduction of Salmonella enterica on Alfalfa Seeds with Acidic Electrolyzed Oxidizing Water and Enhanced Uptake of Acidic Electrolyzed Oxidizing Water into Seeds by Gas Exchange Authors: Stan S.D.; Daeschel M.A. Source: Journal of Food Protection®, Volume 66, Number 11, 1 November 2003 , pp. 2017-2022(6).
61. Treatment of Escherichia coli O157:H7 inoculated alfalfa seeds and sprouts with electrolyzed oxidizing water. Authors: Sharma R.R.; Demirci A. Source: International Journal of Food Microbiology, Volume 86, Number 3, 15 September 2003 , pp. 231-237(7).
62. Effectiveness of Electrolyzed Acidic Water in Killing Escherichia coli O157:H7, Salmonella Enteritidis, and Listeria monocytogenes on the Surfaces of Tomatoes, A Comment on: J. Food Prot. 66(4):542-548 (2003). Author: Wilhelmsen E. Source: Journal of Food Protection®, Volume 66, Number 9, 1 September 2003 , pp. 1540-1540(1).
63. Stability of Electrolyzed Oxidizing Water and Its Efficacy against Cell Suspensions of Salmonella Typhimurium and Listeria monocytogenes. Authors: Fabrizio K.A.; Cutter C.N. Source: Journal of Food Protection®, Volume 66, Number 8, 1 August 2003 , pp. 1379-1384(6).
64. Strongly acidic electrolyzed water: valuable disinfectant of endoscopes Authors: AKURAI Y.S.; OBAYASHI I.K. Source: Digestive Endoscopy, Volume 14, Number 2, April 2002 , pp. 61-66(6).
65. Инструкция по применению раствора оксидантов, вырабатываемого установками типа «АКВАХЛОР», для дезинфекции воды хозяйственно-питьевого водоснабжения, бытовых и промышленных сточных вод, воды плавательных бассейнов, утвержденная главным санитарным врачом РФ 27.04.2009 г. № 01-10/48-09.