

УДК 628:579.68

ВЛИЯНИЕ ДЕЗИНФЕКТАНТОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ И УДАЛЕНИЕ БИОПЛЕНОК ОБРАСТАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

*М.Н. МЕНЧА**(КУМОП ЖКХ «Барановичское ГЖКХ», Барановичи)*

Исследованы бактерицидные свойства ряда дезинфектантов (хлорсодержащих соединений: гипохлорита натрия, диоксида хлора; полигуанидинов; низкотоксичных препаратов на основе перекиси водорода). Изучены процесс формирования биообращаний на модельных поверхностях, предварительно обработанных дезинфектантами, и воздействие дезинфицирующих веществ на существующие биоценозы обрастаний. Выполнена оценка возможности применения исследованных препаратов в практике питьевого водоснабжения с целью предупреждения и борьбы с биообрастаниями.

Введение

Эксплуатация водопроводных сетей и другого оборудования систем питьевого водоснабжения может значительно осложняться вследствие заселения омываемых водой поверхностей различного рода микроорганизмами, не представляющими прямой санитарно-эпидемиологической опасности для потребителей [1].

Развивающиеся в системе водоснабжения микроорганизмы могут образовывать достаточно толстый слой, уменьшая внутреннее сечение трубопроводов и тем самым увеличивая гидравлическое сопротивление водопроводной сети и энергетические затраты эксплуатационных организаций на подачу воды потребителям. В результате жизнедеятельности и отмирания организмов ухудшается качество питьевой воды, повышается мутность, цветность, а с возникновением зон с повышенной концентрацией биомассы возникают условия, способствующие появлению и развитию гетеротрофов, в том числе и патогенной микрофлоры. Организмы обрастаний также отрицательно действуют на материал обрастаемых поверхностей труб, вызывая биокоррозию [2].

Вопросы повышения качества питьевой воды, рационального использования водных и материальных ресурсов, энергосбережения в последние годы в практике водоснабжения приобретают особо важное значение, поэтому исследования процессов биообрастаний и разработка эффективных методов защиты от них являются актуальными в решении задачами.

Среди существующих методов борьбы с биологическими обрастаниями, кроме предупредительных мероприятий, определенное место занимает химическая защита, основанная на применении дезинфектантов, оказывающих губительное воздействие на микрофлору питьевой воды и биоценозы обрастаний, или других химических соединений, препятствующих прикреплению клеток микроорганизмов к поверхностям оборудования системы водоснабжения [3].

Изучены бактерицидные свойства и воздействие на биоценозы обрастаний, формирующиеся в естественных условиях на модельных поверхностях (стальных пластинах) хлорсодержащих реагентов: гипохлорита натрия и диоксида хлора, а также низкотоксичных препаратов на основе перекиси водорода (ALTHOSAN KPO, ALTHOSAN KPS) и полигуанидинов (БИОПАГ).

Бактерицидные свойства дезинфектантов

Лабораторные исследования по изучению бактерицидного действия химических соединений на микробную популяцию биообрастаний проводили в стеклянных сосудах, объемом 0,8 л. Сосуды заполняли культуральной жидкостью, содержащей 10^5 кл/мл. В опыте использовали четыре различные концентрации химических соединений.

Гипохлорит натрия использовали в виде готового препарата, полученного химическим синтезом. Соединение представляло собой жидкость зеленовато-желтого цвета с содержанием активного хлора 190 г/дм^3 . Гипохлорит натрия вносили в культуральную жидкость из расчета содержания в ней активного хлора 0,5; 1,5; 3,0 и $4,5 \text{ мг/дм}^3$. Диоксид хлора получали в виде раствора из растворов 9 % HCl и 7 % NaClO₂ и вносили в культуральную жидкость в концентрациях ClO₂ 0,005; 0,01; 0,05 и $0,1 \text{ мг/дм}^3$. В качестве препаратов на основе перекиси водорода были использованы кислотные дезинфекционные средства ALTHOSAN KPO и PEROXID ALTHOSAN KPS. Препарат ALTHOSAN KPO содержал 35 % перекиси водорода и 15 % уксусной кислоты. Препарат PEROXID ALTHOSAN KPS содержал 5 % перекиси водорода, 10 % щавелевой кислоты и 3 % поверхностно-активных веществ. В проводимых исследованиях ALTHOSAN KPO и PEROXID ALTHOSAN KPS использовали в концентрациях 0,025; 0,05; 0,1 и 0,15 %. Из ряда полигуанидинов применяли препарат БИОПАГ в концентрациях 0,025; 0,05; 0,1 и $0,15 \text{ мг/дм}^3$.

Наблюдение за жизнеспособностью бактериальной популяции под действием химических соединений осуществляли через определенные промежутки времени от 1 до 36 часов. Посев культуральной жидкости проводили на мясопептонный агар (МПА). Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

Бактерицидная эффективность дезинфектантов

Время воздействия, ч		0	1	3	6	12	24	36
		Число жизнеспособных клеток, $\times 10^4$ кл/мл						
Концентрация гипохлорита натрия (по активному хлору), мг/дм ³	0,5	10	6	1	0,4	0	–	–
	1,5	10	2	0,5	0	0	–	–
	3,0	10	0	0	0	0	–	–
	4,5	10	0	0	0	0	–	–
Концентрация диоксида хлора, мг/дм ³	0,01	10	0,1	0,04	0,01	0	–	–
	0,05	10	0,01	0	0	0	–	–
	0,10	10	0	0	0	0	–	–
	0,15	10	0	0	0	0	–	–
Концентрация ALTHOSAN KPO, %	0,025	10	5	0	0	–	–	–
	0,05	10	0	0	0	–	–	–
	0,10	10	0	0	0	–	–	–
	0,15	10	0	0	0	–	–	–
Концентрация PEROXID ALTHOSAN KPS-V, %	0,025	10	8	3	0,8	0,09	0,01	0
	0,05	10	6	1	0,06	0,01	0	0
	0,10	10	4	0,9	0,01	0	0	0
	0,15	10	0,1	0	0	0	0	0
Концентрация препарата БИОПАГ, мг/дм ³	0,025	10	7	2	0,8	0	–	–
	0,05	10	4	0	0	0	–	–
	0,10	10	0	0	0	0	–	–
	0,15	10	0	0	0	0	–	–

Эффективное бактерицидное действие гипохлорита натрия наблюдается при концентрации его (по активному хлору) 3 мг/дм³ – полная гибель тест-организмов обеспечивается в течение первого часа эксперимента. При снижении концентрации гипохлорита натрия до 1,5 и 0,5 мг/дм³ необходимо соответственно увеличивать время контакта дезинфектанта с микрофлорой до 6 и 12 часов, что, по понятным причинам, не всегда может быть использовано при эксплуатации систем водоснабжения.

Диоксид хлора проявляет бактерицидные свойства через один час при концентрации 0,1 мг/дм³. Применение диоксида хлора в концентрациях 0,01 и 0,05 мг/л не обеспечивает полной гибели тест-организмов: в опытных вариантах через час после обработки им воды выявляется соответственно до 10^3 и 10^2 клеток в 1 мл культуральной жидкости. При концентрации диоксида хлора 0,05 мг/дм³ необходимо увеличивать время дезинфекции до 3 часов, а при концентрации 0,01 мг/дм³ – до 12 часов.

Из препаратов на основе перекиси водорода более эффективен ALTHOSAN KPO. Хорошие дезинфицирующие свойства ALTHOSAN KPO установлены при всех исследованных концентрациях препарата. Оптимальна 0,05 %-ная концентрация препарата, при которой в течение первого часа обеспечивается полная гибель микрофлоры.

На первый взгляд менее эффективно применение PEROXID ALTHOSAN KPS. Даже при концентрации 0,15 %, что в три раза больше, чем при использовании препарата ALTHOSAN KPO, уничтожение тест-организмов происходит только после воздействия на них в течение трех часов. Однако, учитывая, что содержание в PEROXID ALTHOSAN KPS одного из действующих веществ (перекиси водорода) в семь раз меньше, заключение о низкой эффективности рассматриваемого средства преждевременно.

Препарат «Биопаг» в концентрации 0,1 мг/дм³ вызывает гибель всей микрофлоры обрастания в течение первого часа, при снижении содержания его до 0,05 мг/дм³ он действует губительно только на 60 % общего состава микрофлоры. При дальнейшем снижении концентрации биопага в воде дезинфицирующий эффект можно достичь только при увеличении времени экспозиции до 12 часов.

Анализируя полученные результаты, следует отметить высокие бактерицидные свойства всех исследованных препаратов, обосновывающие возможность применения их в водоподготовке. Однако выбор препарата в каждом конкретном случае требует учета и других его свойств, исследование ряда которых будет рассмотрено ниже.

Применение дезинфектантов для разрушений биопленок обрастаний

Важным показателем использования того или иного химического соединения в практике водоснабжения кроме бактерицидных свойств является его способность разрушать биопленки обрастания, сформированные на поверхностях оборудования, очищать их от микрофлоры, и таким образом исключать (снижать) негативные биологические явления в системах водоснабжения.

В качестве модельных поверхностей для формирования биообрастаний были использованы стальные пластинки прямоугольного профиля, которые помещали в пропиленные пазы ячеек, представляющих собой две текстолитовые пластины, закрепленные между собой по четырем краям стойками. Стальные пластинки до начала эксперимента тщательно вымывали, обезжировали, высушивали до постоянной массы при 120 °С в течение 2...3 часов, взвешивали и нумеровали (на текстолитовой пластине). Подготовленные указанным образом стальные пластинки в ячейках помещали в стеклянный цилиндр, оборудованный штуцерами для подачи и отвода воды.

Биопленку обрастания формировали на стальных пластинках в процессе пропускания воды конкретного источника водоснабжения (скважина № 5 водозабора № 1 г. Барановичи) через стеклянный цилиндр в течение 120 часов. Скорость протока воды составляла 1,5 см/мин. В варианте с использованием воды данного источника водоснабжения интенсивность биообрастаний на стальных пластинах составляла 45 мг/м² при 100-часовой экспозиции, а при 120-часовой – 54 мг/м².

Далее пластины, подвергшиеся биообрастаниям, помещали в стеклянные емкости, заполненные тремя литрами раствора исследуемых биоцидов. Учитывая, что эффективность воздействия дезинфектантов на планктонные клетки выше, чем на микроорганизмы в составе биопленок, использовали биоциды в концентрациях на 30...50 % выше, использованных в предыдущем опыте, а именно:

- гипохлорит натрия – 4,5 мг/дм³;
- диоксид хлора – 0,15 мг/дм³;
- ALTHOSAN KPO – 0,1 %;
- PEROXID ALTHOSAN KPS – 0,2 %;
- БИОПАГ – 0,15 мг/дм³.

Через определенные промежутки времени (от 1 до 12 часов) из сосуда с биоцидами извлекали по одной стальной пластине, промывали ее в протоке дистиллированной воды, подаваемой со скоростью 1,5 см/мин, высушивали до постоянного веса и определяли величину биомассы обрастаний, оставшейся на ее поверхности. Результаты экспериментов приведены на рисунке 1.

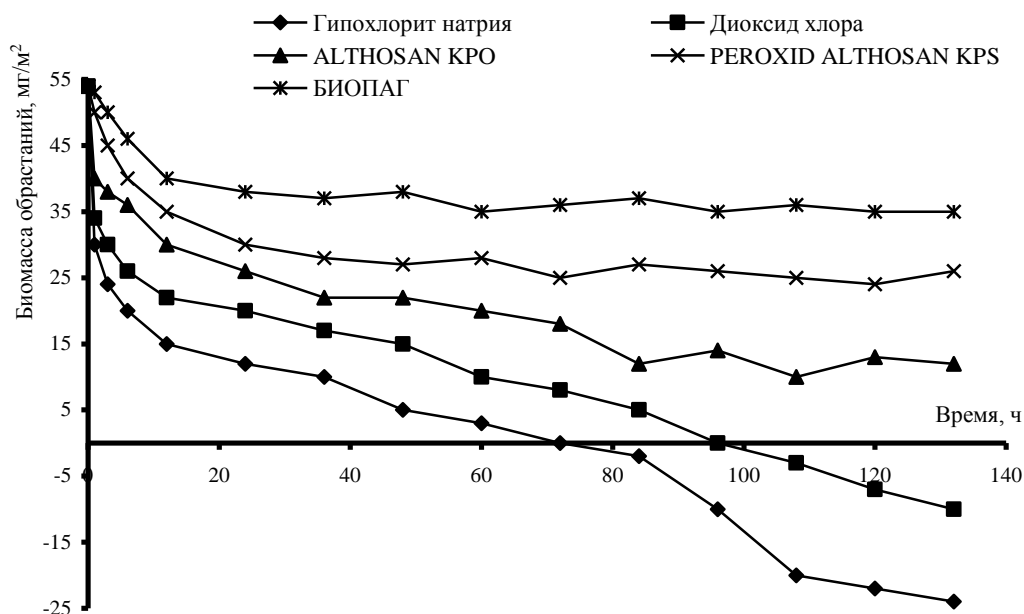


Рис. 1. Влияние биоцидов на разрушение биопленки обрастания

Проведенные исследования показали, что с меньшей эффективностью разрушаются сформированные биопленки обрастания под воздействием БИОПАГА. В течение первого часа экспозиции количество

биомассы обрастания снижается только на 2 %. Максимальное количество ее (30...35 %) удаляется с пластины только через 24 часа, после чего содержание остается практически на постоянном уровне на протяжении всего времени выдержки пластин в растворе.

Более эффективны препараты на основе перекиси водорода – PEROXID ALTHOSAN KPS и ALTHOSAN KPO, применение которых в течение часа обеспечивает удаление 8 и 26 % биомассы обрастания соответственно. В результате использования препаратов PEROXID ALTHOSAN KPS и ALTHOSAN KPO в течение двух суток с пластин удаляется 45 и 52 % биомассы.

Дальнейшая экспозиция пластин в препарате PEROXID ALTHOSAN KPS становится неэффективной. Использование ALTHOSAN KPO в течение пяти суток приводит к снижению веса биомассы обрастания на пластинах до 80 %. Однако такой период обработки, очевидно, не приемлем в практике эксплуатации систем водоснабжения.

Анализ результатов, приведенных на рисунке 1, показал, что из исследованных дезинфектантов для удаления биообрастаний с поверхности наиболее подходят биоциды на основе хлорсодержащих соединений. Применение диоксида хлора и гипохлорита натрия уже за первый час обработки снижает количество биомассы обрастаний на 37 и 45 % соответственно. Обработка пластин гипохлоритом натрия в течение двух суток, а диоксидом хлора в течение трех суток обеспечивает практически полное очищение их поверхности.

Характер влияния биоцидов на биопленки обрастания позволяет выделить две группы соединений, различающиеся по воздействию на биообрастания и обрабатываемые поверхности.

Одну группу составляют препараты на основе перекиси водорода и полигуанидинов, другую – хлорсодержащие соединения.

Применение соединений первой группы позволяет удалять до 30 % биомассы обрастания, а при значительном увеличении времени обработки – до 80 %. Дальнейшее увеличение времени контакта биоцида с обрабатываемой поверхностью не эффективно.

Соединения второй группы характеризуется большой эффективностью очистки, обеспечивающей не только практически полное удаление биопленки обрастаний с обрабатываемой поверхности, но и воздействие на саму поверхность обрастания. В наших исследованиях данные факты фигурируют (см. рис. 1) как отрицательная биомасса обрастания и свидетельствуют о том, что происходит удаление не только биопленки обрастаний, но и уменьшается масса обрабатываемой пластины.

Это явление вызвано высокоскоростным коррозионным воздействием, свойственным исследуемым хлорсодержащим соединениям. Данное обстоятельство обязывает ограничивать время воздействия хлорсодержащих соединений на обрабатываемые поверхности при применении их для очистки трубопроводов от биообрастаний.

Необходимо подчеркнуть тот факт, что удаление биообрастаний с пластин с помощью всех исследованных химических соединений не сопровождалась в наших исследованиях последующей промывкой их в турбулентном потоке воды. Такая обработка, в обязательном порядке проводимая при традиционной очистке водопроводных сетей, будет способствовать эффективности воздействия биоцидов на микрофлору обрастания при использовании их в производственных условиях.

Формирование биообрастаний в условиях применения дезинфектантов

При борьбе с биологическими обрастаниями в системах водоснабжения очень важным свойством химического соединения (дезинфектанта) является не только эффективность его воздействия на микрофлору биопленки обрастания, но и кондиционирование омываемых водой поверхностей с целью предотвращения прикрепления к ним клеток микроорганизмов, поступающих с водой. Подача биоцидов в систему водоснабжения может осуществляться как периодически, так и непрерывно.

Динамику формирования биопленок обрастаний на стальных пластинах, характерную для условий периодической подачи дезинфектанта, изучали после предварительной обработки пластин биоцидами. В эксперименте использовали:

- гипохлорит натрия – 4,5 мг/дм³;
- диоксид хлора – 0,15 мг/дм³;
- ALTHOSAN KPO – 0,1 %;
- PEROXID ALTHOSAN KPS – 0,2 %;
- БИОПАГ – 0,15 мг/дм³.

Предварительно высушенные до постоянного веса стальные пластины помещали в ячейки обрастания и выдерживали в соответствующем растворе биоцида в течение одного часа. Обработанные биоцидом стальные пластины опускали в стеклянный цилиндр модельного фильтра. Воду из скважины № 5

водозабора «Волохва» подавали в стеклянный цилиндр со скоростью протока 1,5 см/мин. За процессом формирования биообрастаний на поверхности стальных пластин наблюдали в течение 24 ч.

Через определенные промежутки времени из модельного фильтра извлекали по одной пластине, высушивали до постоянного веса и вычисляли величину биомассы обрастаний на ее поверхности. Результаты эксперимента представлены на рисунке 2.

Динамика формирования биообрастаний пластин, обработанных гипохлоритом натрия и диоксидом хлора, практически не отличается от выявленной для необработанных пластин. Процесс формирования биообрастаний начинается через 1...3 часа, т.е. сразу после контакта поверхности стальной пластины с поступающими объемами питьевой воды, смывающими остатки дезинфектанта.

Также неэффективным оказалось использование для обработки поверхности пластин препарата ALTHOSAN KPO. Процесс накопления биомассы обрастаний на них начинается уже в течение первых суток экспозиции.

Столь быстрое формирование биообрастаний на поверхности обработанных пластин тремя рассмотренными препаратами объясняется, по всей вероятности, слабыми силами связывания препаратов с обрабатываемыми материалами, не обеспечивающими длительное удержание действующего вещества на их поверхности.

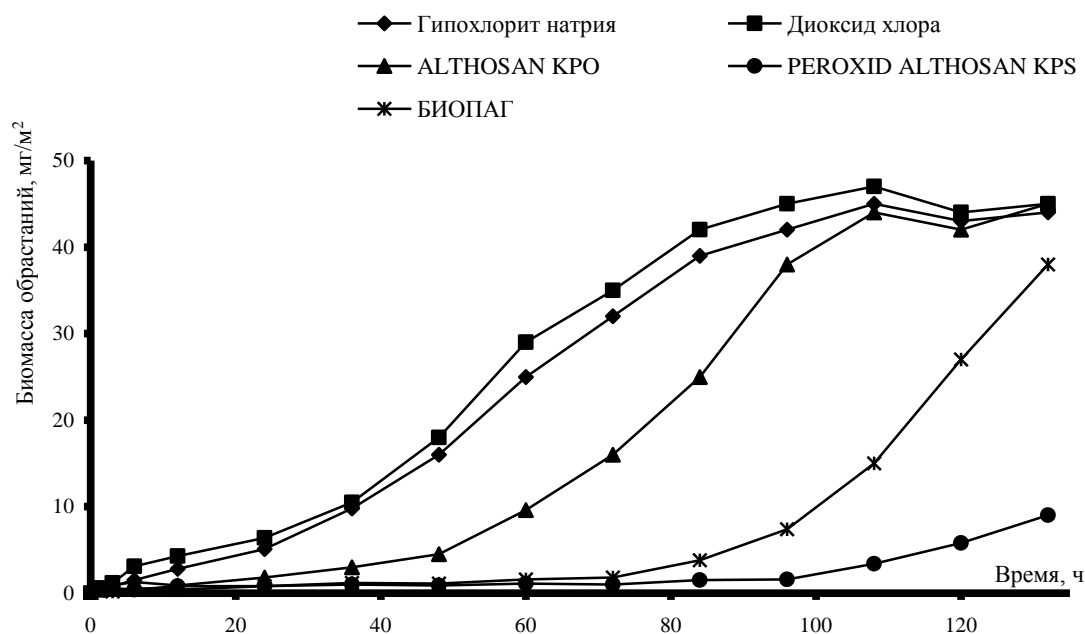


Рис. 2. Формирование биообрастаний после обработки пластин биоцидами в течение 1 часа

Иная картина наблюдается при использовании для обработки исследуемой поверхности препаратов БИОПАГ и PEROXID ALTHOSAN KPS. В вариантах с биопагом процесс интенсивного формирования биопленки обрастания на поверхности пластин начинается только через двое суток. Поверхность стальной пластины, обработанной препаратом PEROXID ALTHOSAN KPS, не подвергается биологическим обрастаниям до пяти суток. Выявленный защитный эффект связан с химической структурой и составом препаратов БИОПАГ и PEROXID ALTHOSAN KPS.

БИОПАГ – хлорид полигексаметиленгуанидина – представлен полимерной структурой, формирующей на обрабатываемых поверхностях тонкую полимерную пленку, обеспечивающую ее длительную асептичность. В состав PEROXID ALTHOSAN KPS, в отличие от ALTHOSAN KPO, кроме перекиси водорода и кислоты входят поверхностно-активные вещества, которые, очевидно, способствуют адгезии препарата на обработанных поверхностях. Длительное сохранение препаратов на поверхности оборудования и трубопроводов удлиняет срок проявления присущих им бактерицидных свойств.

Динамику формирования биообрастаний в условиях постоянной подачи исследуемых дезинфектантов в систему водоснабжения изучали по аналогичной схеме.

Предварительно высушенные до постоянного веса стальные пластинки помещали в ячейки и опускали в стеклянный цилиндр, в который, кроме воды из скважины № 5 водозабора № 1, непрерывно подавали соответствующий вариантам опыта дезинфектант. Концентрация препаратов поддерживалась постоянной подачей воды на уровне эффективной, исходя из установленного нами минимального содержания биоцида, обеспечивающего стопроцентную гибель клеток в статических условиях в течение одного часа. Такая эффективная концентрация составляет:

- для гипохлорита натрия – 3,0 мг/дм³;
- диоксида хлора – 0,1 мг/дм³; ALTHOSAN KPO – 0,05 %;
- PEROXID ALTHOSAN KPS – 0,15 %;
- БИОПАГ – 0,1 мг/дм³.

Скорость протока воды поддерживали на уровне 1,5 см/мин.

Через определенные промежутки времени (от 1 до 12 часов) извлекали по одной пластине, высушивали до постоянного веса и определяли величину биомассы обрастаний на ее поверхности. Результаты эксперимента приведены в таблице 2.

Таблица 2

Формирование биообрастаний на стальных пластинах
в условиях постоянной подачи дезинфектантов

Время экспозиции стальных пластинок, ч	Наименование биоцида				
	Гипохлорит натрия	Диоксид хлора	ALTHOSAN KPO	PEROXID ALTHOSAN KPS	БИОПАГ
	Содержание биообрастаний на поверхности стальных пластин, мг/м ²				
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
3	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0
6	0,1	0,3	0,1	0,0	0,1
12	0,3	0,2	0,3	0,1	0,0
24	0,2	0,3	0,4	0,3	0,2
36	0,5	0,7	0,7	0,2	0,4
48	0,8	0,9	0,8	0,0	0,1
60	1,2	1,3	1,0	0,1	0,2
72	1,1	1,2	1,2	0,0	0,3
84	1,2	1,4	1,1	0,1	0,0
96	1,5	1,5	1,2	0,2	0,1
108	1,4	1,4	1,5	0,0	0,0
120	1,8	1,6	1,7	0,3	0,3
132	1,7	1,8	1,9	0,0	0,1

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что постоянное введение исследуемых соединений в питьевую воду позволяет практически полностью исключить образование биологических обрастаний на поверхности находящихся в них пластин.

Следует особо отметить, что в вариантах с применением гипохлорита натрия, диоксида хлора и ALTHOSAN KPO установлено образование на поверхности стальных пластин незначительных отложений массой 1,6...1,8 мг/м² за пять суток. Учитывая, что гипохлорит натрия и диоксид хлора обладают высокой коррозионной активностью по отношению к стали (см. рис. 1), фактическая масса отложений на поверхности стальных элементов системы водоснабжения в производственных условиях будет, вероятно, даже несколько выше определенной в опыте.

Однако микроскопическими исследованиями отложений [4], образованных на поверхности стальных пластин, в вариантах с гипохлоритом натрия, диоксидом хлора и ALTHOSAN KPO микроорганизмов не выявлено, так как они являются образованиями не биологической природы, а представлены различными минеральными и органическими примесями, содержащимися в составе омывающей их воды.

Это позволяет заключить, что использование гипохлорита натрия, диоксида хлора и ALTHOSAN KPO в условиях постоянного применения при эксплуатации системы водоснабжения предотвращает развитие биологических обрастаний, но не исключает возможности отложения на поверхностях оборудования минеральных и органических примесей воды.

В результате применения PEROXID ALTHOSAN KPS и БИОПАГА поверхность пластин остается чистой на протяжении всего опыта, что обосновано специфическими химическими свойствами данных препаратов.

Выводы

1. Гипохлорит натрия, диоксид хлора, ALTHOSAN KPO, PEROXID ALTHOSAN KPS и БИОПАГ обладают высокими дезинфекционными свойствами.
2. Очистка поверхностей оборудования системы водоснабжения от уже сформированных биологических обрастаний наиболее эффективна при применении хлорсодержащих соединений: гипохлорита натрия и диоксида хлора. Время воздействия их на обрабатываемые поверхности оборудования должно быть обусловлено интенсивностью биологических обрастаний и ограничено временным интервалом, в пределах 2...3 часов, в связи с их высокой коррозионной активностью.
3. Профилактика формирования биологических обрастаний на поверхности оборудования системы водоснабжения должна осуществляться с помощью периодического и непрерывного применения препаратов на основе перекиси водорода с поверхностно-активными веществами (PEROXID ALTHOSAN KPS), а также хлорида полигексаметиленгуанидина – БИОПАГа. Использование данных препаратов позволяет не только предотвратить биологические обрастания, но и снизить (исключить) образование на поверхностях оборудования системы водоснабжения отложений минеральных и органических примесей, содержащихся в воде.
4. В связи с тем, что биообрастания различных систем водоснабжения из-за разного химического и микробиологического состава воды источника водоснабжения будут различны, применение дезинфектантов для борьбы с биологическими обрастаниями в конкретной системе водоснабжения должно быть обусловлено предварительными экспериментами по предложенной выше схеме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Менча М.Н. и др. Микробный состав обрастаний в системе питьевого водоснабжения из подземных источников // Микробиология и биотехнология XXI столетия: Материалы междунар. конф. – Минск, 22 – 24 мая 2002 года. – Мн., 2002. – С. 54.
2. Менча М.Н. Биологические помехи в работе систем питьевого водоснабжения // Водные проблемы. – 2004. – № 1. – С. 33 – 36.
3. Разумов А.С. Биологические обрастания в системе питьевого и технического водоснабжения и меры борьбы с ними. – М.: Наука, 1969. – С. 5 – 54.
4. Рекомендации по учету железобактерий в отложениях трубопроводов. – М.: ВОДГЕО, 1974. – 10 с.