

Обеззараживание и защита емкостного оборудования от биологических обрастаний

Получение чистой питьевой воды становится все более сложной задачей: многие инженерные сооружения изношены и перестают удовлетворять предъявляемым требованиям. В России около 50 % разводящей водопроводной сети находится в аварийном или близком к тому состоянию из-за коррозии, органических и минеральных отложений. При этом вода может служить источником распространения многих бактериальных и вирусных инфекций. Жизнедеятельность микроорганизмов, прикрепившихся и развивающихся на внутренних поверхностях накопительных емкостей и водопроводов, нарушает работу сети, вызывает биокоррозию стали, латуни и бетона, отрицательно влияет на состав воды. Все это приводит к тому, что вода на выходе из очистных сооружений, даже при оптимальной очистке, не соответствует стандартам.

Пробы воды, добываемой МУП «Орехово-Зуевский городской Водоканал» из подземных источников для питьевых целей, взятые из скважин и накопительных емкостей непосредственно после их заполнения, отличаются хорошими физико-химическими

и бактериологическими показателями. Однако вода, взятая в точках, находящихся в отдалении от накопительных емкостей, особенно в трубопроводах с замедленным течением, имеет ухудшенные физико-химические, а зачастую и бактериологические показатели.

Обследование емкостного оборудования МУП «Орехово-Зуевский городской Водоканал» показало наличие биообрастаний во всех накопительных сооружениях питьевой воды. Состав биообрастаний одинаков: это трудноудаляемые студенистые скопления черно-серого цвета, верхний слой – рыжий. Толщина обрастаний в среднем составляет 15–20 см, увеличиваясь ближе к днищу. На дне слой отложений достигает 0,5 м и содержит механические примеси. В емкостях ощущается сильный запах сероводорода с примесями меркаптана и аминов.

При биологическом исследовании пробы, взятой из емкости на высоте около 1 м от днища, были выделены и идентифицированы 68 микроорганизмов – бактерии, микромицеты, дрожжи (табл. 1), некоторые из них условно-патогенны. Часть микроорга-

Таблица 1

Микроорганизмы	Число штаммов
Бактерии	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	3
<i>Pseudomonas lemoignei</i>	1
<i>Pseudomonas ruhlandii</i>	1
Под <i>Beggiatoa</i>	2
Под <i>Thiothrix</i>	2
Под <i>Thioploca</i>	3
<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	2
<i>Thiobacillus denitrificans</i>	1
<i>Thiobacillus thioparus</i>	1
Под <i>Thioimicrospira</i>	2
Под <i>Thiodendron</i>	2
<i>Leptospirillum ferrooxidans</i>	2
<i>Arthrobacter</i> sp	1
<i>Proteus</i> sp	5
<i>Proteus inconstans</i>	2
<i>Proteus mirabilis</i>	1
Под <i>Sphaerotilus</i>	5
Под <i>Leptothrix</i>	4
<i>Bacillus</i> sp	2
<i>Bacillus megaterium</i>	2
<i>Paracoccus denitrificans</i>	2
<i>Staphylococcus aureus</i>	5
Микромицеты и дрожжи	
<i>Penicillium</i> sp	6
<i>Penicillium chrysogenum</i>	2
<i>Aspergillus</i> sp	2
<i>Aureobasidium</i> sp	1
<i>Cladosporium</i> sp	1
<i>Candida</i>	2
<i>Mucor</i>	1
<i>Pithium</i>	2

низмов не идентифицирована. Проба содержит большое количество неподвижных и плавающих зооглейных бактерий, образующих студенистые скопления. По-видимому, они являются первыми в трофической цепи экосистемы биообрастаний. Обнаружены железобактерии, тионовые и метанобразующие бактерии, аммонификаторы и денитрификаторы. Такое разнообразие бактерий, а также наличие микромицетов и дрожжей позволяют предположить высокую агрессивность микрофлоры в отношении металлических поверхностей, бетона и гидроизоляционного покрытия.

В частности, тиобактерии (нитчатые рода *Beggiatoa*, *Thiothrix*, *Thioploca*, одноклеточные рода *Thiobacillus*, *Thiomicrospira*, *Thiodendron*, *Pseudomonas*) в процессе жизнедеятельности выделяют серную кислоту, перекись водорода, сульфаты и используют для своего развития сероводород, содержащийся в подземных водах. Сероводород, метилмеркаптаны и первичные амины накапливаются в процессе жизнедеятельности аммонификаторов (беспоровых форм) рода *Pseudomonas*, *Proteus*. Далее эти продукты являются условием существования других представителей биоценоза.

Железобактерии жизнеспособны в широком диапазоне условий, неподвижны или передвигаются скольжением, способны накапливать соединения железа и других металлов, усваивают из воды углекислый газ, в качестве про-

межуточного продукта окисления выделяют перекись водорода. Обнаружены железобактерии двух групп:

одноклеточные с грамположительным и грамотрицательным строением клеточной стенки. Клетки разной формы и разных размеров (в зависимости от стадий и условий роста), одиночные и формирующиеся скопления, окруженные капсулами, в которых откладываются оксиды азота. *Thiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans* способны расти только на средах, богатых органическими соединениями, являясь факультативными хемолитоавтотрофами;

нитчатые железобактерии с грамотрицательным строением клеточной стенки (рода *Leptothrix* и *Sphaerotilus*) могут удовлетворительно расти при низком содержании кислорода и органических веществ в воде, легко прикрепляются к поверхностям и уменьшают пропускную способность труб, вплоть до закупоривания.

Микромицеты и дрожжи появляются при наличии достаточного количества органических соединений (продуктов жизнедеятельности) на поверхности оборудования.

Прямое доказательство агрессивности ассоциации микрофлоры в отношении водопроводных труб было получено при инкубировании стальных пластин (Ст.3) с зачищенной поверхностью в течение 10 суток в колбах с добавлением микрофлоры биообрастаний накопительной емкости. При последующей микроскопии таких пла-

стин наблюдались колонии микроорганизмов в виде веток коралла на поверхности металла и выделение газа в местах расположения колоний. После удаления колоний механическим путем в местах их прикрепления обнаружены дефекты поверхности металла в виде раковин, на дне которых имеются микротрещины, уходящие в толщу образца.

Многочисленность и разнообразие микрофлоры биообрастаний требуют применения нетоксичных биоцидных препаратов широкого спектра действия для защиты конструкционных материалов поверхностей от повреждений. Кроме того, препарат должен работать при низких температурах в течение длительного времени. Согласно § 113 СП 458-63, чистка и обеззараживание резервуаров чистой воды должны производиться не реже одного раза в год, а также в том случае, когда отмечено понижение колититра воды, поступающей из резервуара, по сравнению со взятой непосредственно из артезианской скважины.

Для дезинфекции емкостного оборудования в МУП «Орехово-Зуевский городской Водоканал» до настоящего времени применяли раствор хлорной извести. Однако микрофлора, по-видимому, адаптировалась к такой обработке, что характерно для хлорсодержащих препаратов, иначе трудно объяснить такой количественный и качественный состав биообрастаний. Кроме того, соединения хлора ток-

сичны и представляют опасность для персонала, проводящего дезинфекционную обработку в закрытых подземных помещениях без вентиляции, какими являются накопительные емкости для питьевой воды. Хлорактивные препараты имеют резкий удушающий запах, оказывают раздражающее действие на кожу и слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей. Дезинфицирующие мероприятия с применением этих препаратов разрешено проводить только с использованием средств индивидуальной защиты. Во многих развитых странах активно ведутся работы по замене хлора другими менее токсичными дезинфектантами.

Современные биоцидные препараты на основе гуанидина являются наиболее перспективными обеззараживающими агентами при подготовке питьевой воды. После изучения состава биоотложений для проведения испытаний был выбран биопаг-Д – гидрохлорид полигексаметиленгуанидина, на который имеются свидетельства о государственной регистрации, сертификат соответствия, гигиеническое и санитарно-эпидемиологическое заключения. Разработаны методические указания по применению этого препарата. Для питьевой воды определена его ПДК – 0,1 мг/л. В водной среде биопаг-Д одинаково эффективен против грамположительных и грамотрицательных бактерий и вирусов, а также против микромицетов, дрожжей и водорослей.

Перед проведением обеззараживания емкостного оборудования раствором биопага-Д была разработана программа испытаний, согласованная с главным государственным санитарным врачом Московской области. В программе учтено основное требование Госсанэпиднадзора: испытания не должны оказывать негативное воздействие на качество питьевой воды, подаваемой населению. После обеззараживания накопительной емкости вода может подаваться в сеть, если содержание биопага-Д не превышает 0,3 мг/л. Потребителю вода может подаваться с остаточным содержанием препарата, не превышающим ПДК (не более 0,1 мг/л), что контролируется отбором проб в промежуточной точке (перед последним ответвлением на циркуляцию) и у ближайшего потребителя. При превышении этих цифр производится расчетное разбавление по замкнутой схеме (без подачи воды потребителю) и проводятся повторные лабораторные анализы.

Летом 2004 г. в соответствии с этой программой проведена обработка внутренней поверхности накопительной емкости объемом 1000 м³. Во время обработки персонал в качестве защитного средства органов дыхания использовал респиратор (а не противогаз, как в случае с раствором хлорной извести). Было отмечено, что работа с препаратом биопаг-Д более безопасна и комфортна, не ощущаются затруднение дыхания и неприятные запахи, нет раздраже-

ния слизистых оболочек и кожных покровов.

Обеззараживающая обработка внутренней поверхности накопительной емкости проводилась после механической очистки стен резервуара по технологии, изложенной в программе испытаний. По истечении 8–10 ч после обработки емкость (кроме потолка) споласкивали водой из шланга, промывная вода направлялась в канализацию. Затем емкость заполняли водой, спустя несколько часов брали пробу на определение остаточного содержания биоцида (0,77 мг/л), бактериологических и физико-химических показателей (рН, хлориды, сульфаты, нитриты, нитраты, аммонийный азот, перманганатная окисляемость, общая жесткость, общее железо). Следили за изменением содержания биоцида: через 19 ч выдержки его концентрация в воде возросла до 0,98 мг/л, что объясняется переходом в раствор оставшегося препарата со стен резервуара; через 7 дней выдержки концентрация снизилась в 3 раза и достигла значения 0,34 мг/л. Поскольку содержание биоцида оказалось выше 0,3 мг/л, провели расчет необходимой степени разбавления воды, которое производили с использованием соседней емкости. После разбавления вновь брали пробу на остаточное содержание биоцида (0,14 мг/л), и вода направлялась в раздаточный коллектор потребителю. Остаточное содержание препарата в промежуточной точке перед последним ответвлением на цирку-

Показатель	ПДК	Исходная вода			Вода через 9 дней выдержки			
		второй подъем	ближний потребитель	дальний потребитель	резервуар	второй подъем	ближний потребитель	дальний потребитель
Содержание биопага-Д, мг/л	0,1	0	0	0	0	0	0	0
pH	6–9	7,06	7,01	7,06	6,42	6,87	7,16	7,03
Нитраты, мг/л	45	0,15	0,2	0,25	0,25	0,3	0,5	1
Нитриты, мг/л	3	0,0025	0,004	0,007	0,006	0,0035	0,006	0,0045
Общая жесткость, мг-экв/л	7	5,85	5,56	5,37	6,43	6,43	6,33	5,85
Хлориды, мг/л	350	3,2	3	3,2	3,4	3	3,5	3,40
Железо, мг/л	0,3–1	0,3	0,28	0,17	0,36	0,3	0,36	0,15
Сульфаты, мг/л	500	17	16,8	15,2	20,4	17,8	17,8	14,4
Азот аммонийный, мг/л	1,5	0,175	0,14	0,095	0,28	0,225	0,405	0,125
Перманганатная окисляемость, мг/л	5	1,2	1,2	1,2	3,2	3,2	2,4	–
Термотолерантные колиформные бактерии, ед/100 мл	Отсутствуют							
Общее микробное число, ед/мл	Не более 50	0	0	0	0	0	0	0
Общие колиформные бактерии, ед/100 мл	Отсутствуют			0,33	Отсутствуют			
Примечание. Содержание биопага-Д в воде из резервуара: после промывки – 0,77 мг/л, после выдержки 19 ч – 0,98 мг/л, после 7 дней выдержки – 0,34 мг/л, после разбавления (выдержка 8 дней) – 0,14 мг/л.								

ляцию в раздаточном коллекторе оказалось менее 0,01 мг/л, и к ближнему потребителю вода поступила уже без остаточного количества биопага-Д. Это указывает на заселенность трубопровода микроорганизмами и расходование препарата на их обеззараживание.

В табл. 2 представлены результаты физико-химических и бактериологических исследований воды. Проба исходной воды, взятая у дальнего потребителя, не соответствовала норме по бактериологическим показателям. С удалением потребителя от накопительной емкости содержание нитритов и нитратов несколько повышалось, снижалось содержание аммонийного азота. Это указывает на протека-

ние биологических процессов с участием различных бактерий, заселивших трубопровод. После обработки резервуара раствором биопага-Д и однократной промывки трубопровода (полное опорожнение резервуара произошло за 6–6,5 ч), показатели даже у дальнего потребителя пришли в норму (о каких-либо закономерных изменениях нитритов, нитратов и аммонийного азота с уверенностью говорить нельзя, отмечены лишь колебания этих показателей).

Учитывая опыт первого испытания, при обеззараживании второго резервуара время ополаскивания стен и пола после обработки раствором препарата увеличили примерно вдвое. Кроме того, в кана-

лизацию были сброшены промывные воды из приемка резервуара (при первом испытании этого не делали). После заполнения резервуара водой из скважины (через 4 ч выдержки) содержание биоцида в воде составляло 0,24 мг/л, через сутки – 0,21 мг/л, что позволило направить воду потребителю без дополнительного разбавления (в пробе, взятой у ближнего потребителя, биоцид не обнаружен). Таким образом, в результате испытаний выявлены некоторые особенности обработки внутренней поверхности накопительного резервуара с целью дезинфекции и предотвращения его дальнейших биообрастаний.

Через год резервуары были опорожнены и исследованы

на наличие биообрастаний. На стенках резервуаров, обеззараживание которых проводили биопагом-Д, толщина рыхлых, буро-коричневого цвета отложений была незначительной (1–2 см). При биологическом исследовании были выделены нитчатые и одноклеточные железобактерии и тиобактерии рода *Thiobacillus*. Микромицеты и дрожжи не обнаружены. В целом отмечена бедная микрофлора, отложения в основном представлены оксидами железа (по данным физико-химического анализа в течение года неоднократно выявлялось превышение содержания железа в воде). На стенках резервуа-

ров, обеззараживание которых проводили хлором, отложений было значительно больше, они представляли собой, как и ранее, студенистые скопления черно-серого цвета. Состав этих отложений по идентифицированным представителям был аналогичен приведенному в табл. 1, присутствовала условно-патогенная микрофлора (*Pseudomonas*). Кроме того, были обнаружены одноклеточные и нитчатые сине-зеленые водоросли, поверхность клеточных стенок которых находились слизистые слои (чехлы). Ранее таких микроорганизмов в отложениях не находили.

Выводы

Обеззараживание внутренних поверхностей резервуаров питьевой воды хлорсодержащими дезинфектантами не обеспечивает защиту их от биологических обрастаний. Применение полигуанидинового препарата биопаг-Д гарантирует длительную защиту емкостей. Процедура дезинфекции более безопасна для персонала, поэтому его применение представляет интерес для Водоканалов. В ближайшее время планируются испытания биопага-Д для санитарной обработки водозаборных скважин и участков трубопровода.